

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y
CONTROL SUPERVISORIO PARA EL LABORATORIO DE
DISEÑO AMBIENTAL DE LA FACULTAD DE
ARQUITECTURA**

**TESIS
QUE PRESENTA**

JESÚS ARMANDO CANTÚ CÁRDENAS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN
INGENIERÍA**

**DIRECTORA DE TESIS
M. I. SILVIA VANESA MEDINA LEÓN**

MEXICALI, B. C. FEBRERO DE 2007

RESUMEN:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL SUPERVISORIO PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO AMBIENTAL DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA

Se presenta el diseño, instalación y puesta en marcha de un sistema de adquisición de datos y control supervisorio por computadora para el monitoreo de las condiciones ambientales de un cuarto habitación experimental en el laboratorio de Diseño Ambiental de la Facultad de Arquitectura de la U. A. B. C. campus Mexicali.

Durante la etapa de diseño se desarrolló un prototipo para las pruebas experimentales del proyecto, en el cual se incluyeron sensores de diferentes parámetros físicos (Temperatura, humedad, intensidad luminosa, sonido, etc.), una etapa de acondicionamiento y se instaló una tarjeta interfase para la adquisición de señales en una computadora.

Se diseñó un programa utilizando software para instrumentación virtual (LabVIEW®) que cuenta con una interfase visual amigable para el usuario y además es capaz de generar archivos de bases de datos para el diseño de tablas, histogramas y gráficas para la impresión de reportes detallados, además la interpolación y simulación de condiciones ambientales no alcanzables físicamente en el laboratorio.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I MARCO TEÓRICO	4
1.1. Sistemas “SCADA”	4
1.2. Instrumentación Virtual	7
1.2.1 ¿Que se entiende por instrumento virtual?	7
1.2.2. El software LabVIEW®	8
1.3. El Medio de Aplicación	9
1.3.1. Valoración del nivel de confort	9
1.3.2. Requerimientos para el confort térmico	10
1.4. Variables a Medir	11
1.4.1. Temperatura	11
1.4.2. Medición de temperatura	14
1.4.3. Humedad Relativa	15
1.4.4. Medición de la humedad relativa	16
1.4.5. La luz	17
1.4.6. Concepto de iluminancia	20
1.4.7. El sonido	26
1.4.8. El ruido acústico y su medición	27
1.4.9. La velocidad de aire y su medición	29

CAPITULO II	
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO	30
2.1. Sensores y Circuitos de Acondicionamiento	31
2.1.1. Medición de temperatura ambiente	33
2.1.2. Medición de temperatura radiante	35
2.1.3. Medición de humedad relativa	37
2.1.4. Medición de iluminancia	39
2.1.5. Medición de intensidad del sonido	41
2.1.6. Medición de la velocidad del aire	43
2.2. Sistema de Adquisición de Datos	44
2.2.1. Diagrama de bloques de la tarjeta DAQ-6024 de Nacional Instrument	44
2.2.2. Configuración de conexión	46
2.2.3. Entradas analógicas	47
2.2.4. Salidas analógicas	50
2.2.5. Contadores	51
2.2.6. Puerto digital de entradas y salidas	52
2.2.7. Entradas de función programable	52
2.2.8. Salida de señal de frecuencia programada	52
2.3. Salidas Discretas y Actuadores	53
2.3.1. Optoaisladores	53
2.3.2. Relevadores de Estado Sólido	53
2.3.3. Actuadores	54

CAPITULO III	EL SOFTWARE DEL PROYECTO	56
3.1	El Programa	56
3.1.1.	Programación Modular	56
3.2.	Estructura y Funcionamiento del programa	57
3.3.	Instrucciones	58
3.3.1.	Asistente de Adquisición	58
3.3.2.	Carta de Forma de Onda	59
3.3.3.	Escritor de Datos en Archivo	60
3.3.4.	Ciclo “FOR”	60
3.3.5.	Ciclo “WHILE”	61
3.3.6.	Tiempo de Retardo o de Espera	61
3.3.7.	Controles e Indicadores Boléanos	62
3.3.8.	Controles e Indicadores Numéricos	62
CAPITULO IV	RESULTADOS	63
4.1.	Archivo de Datos	63
4.2.	Medición de Humedad Relativa	64
4.3.	Medición de Temperatura Ambiente	65
4.4.	Medición de Temperatura Radiante	66
4.5.	Medición de Iluminancia	67
CAPITULO V	CONCLUSIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	69
	ÍNDICE DE FIGURAS	70
	ÍNDICE DE TABLAS	72

INTRODUCCIÓN

El Diseño Ambiental como actividad de referencia humana fundamentalmente creativa, transformadora y productora, teniendo como marco el "medio ambiente", surge para la elaboración de todo tipo de satisfactores de las necesidades funcionales y expresivas.

Esta actividad no se da independientemente de las condiciones naturales (el medio físico, el clima, la situación geográfica), ni de las condiciones sociales que tienen que ver con un espacio y un tiempo, ni de las condiciones económicas de aquellos que serán habitantes-usuarios; sino, por el contrario, se da contando con éstas y a pesar de éstas.

Las categorías *ámbito* y *entorno* permiten explicar y conocer, al mismo tiempo que describen, las cualidades que pertenecen a la realidad en la que el diseño interviene; auxilian en la producción, transformación y creación de ámbitos y entornos.

Algunas disciplinas como la arquitectura, el urbanismo, los asentamientos humanos, la ingeniería, el diseño industrial, la arquitectura del paisaje, la integración plástica, etcétera. Realizan procesos de producción, poseen sus propios objetos de conocimiento y aplican una metodología particular; son disciplinas que analizan, proyectan y realizan transformaciones del ámbito y del entorno humano y cuya disciplina antecedente es necesariamente el Diseño Ambiental

En la Facultad de Arquitectura de la U.A.B.C. Campus Mexicali se cuenta con un laboratorio de Diseño Ambiental para el desarrollo de prácticas de dicha área. En este laboratorio se cuenta con un aparato de aire acondicionado controlado por un PLC de marca SIEMENS en el cual se programa la temperatura deseada, y este se encarga de apagarlo y encenderlo como un termostato programable.

Para obtener datos relevantes para el diseño de casas habitación se tiene que monitorear y registrar una serie de parámetros físicos en diferentes tiempos, para esto los alumnos deben de hacerlo manualmente, acarreado los consecuentes errores e inconvenientes como son:

- a) El error humano de medición.
- b) Al estar el alumno dentro se convierte en factor para el sistema.
- c) La precisión está limitada por los errores de apreciación.
- d) La cantidad de información manipulada provoca una alta probabilidad de errores.
- e) La no posibilidad de realizar varias lecturas simultáneas.
- f) El procesamiento de la información obtenida es posterior y engorrosa.

En la actualidad los sistemas de adquisición de datos por computadora son el pilar de lo que hoy se conoce como “Sistemas Flexibles de Producción” en donde toda la planta se encuentra enlazada a un sistema y la información fluye desde el departamento de diseño hasta el de embarque pasando por ingeniería, planeación, compras, almacén, producción, etc.

El uso de todo el potencial de la computadora para la adquisición y procesamiento de la información, además del control de las variables, hace de este tipo de sistemas una herramienta invaluable para el control de los procesos industriales.

El objetivo principal de este trabajo es la aplicación de la instrumentación virtual y de un sistema de adquisición de datos automático que presente una interfase amigable para el usuario y que genere archivos de bases de datos para la creación de tablas, gráficas histogramas y proyecciones para el análisis y la impresión de reportes para el desarrollo de prácticas en el Laboratorio de Diseño Ambiental de la Facultad de Arquitectura, lo que trajo consigo todas las ventajas de la automatización como son:

- a) Exactitud.** Al no tener la intervención del hombre se eliminan los posibles errores humanos, y las mediciones no serán de apreciación.
- b) Precisión.** Las mediciones serán tomadas siempre en los mismos puntos del sistema y por los mismos elementos.
- c) Sencillez.** El sistema podrá ser operado por cualquier alumno o maestro.
- d) Práctico.** El sistema arrojará los resultados en pantalla y de manera impresa a requerimiento del usuario.

La organización de los temas es la siguiente:

En el primer capítulo se tratan los conceptos básicos sobre los sistemas de instrumentación por computadora, las variables a medir, y sus métodos de medición, necesarios para justificar los métodos y elementos utilizados en el diseño y la construcción del prototipo experimental de prueba y del sistema final.

En el capítulo segundo se describen los elementos utilizados y el desarrollo del diseño del hardware primeramente para el prototipo y después para la construcción del sistema.

El capítulo tercero trata sobre una descripción del programa diseñado y la explicación detallada de su funcionamiento.

Finalmente en el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos, mediante la experimentación con el prototipo fabricado y la puesta en marcha del sistema final.

CAPITULO 1

Marco Teórico

1.1 Introducción



Figura 1.1

La Computadora como elemento de medición y control [11].

La utilización de la computadora en control automático de procesos industriales ha aumentado espectacularmente desde el comienzo de los años setenta. Esto no solo permite implantar sistemas de control de mayores prestaciones que las obtenidas con controladores analógicos y a un menor precio sino que, además, se pueden realizar muy diversas tareas de procesamiento de datos y supervisión [2]. Entre las primeras pueden incluirse la recepción y filtrado de datos, selección de subconjuntos significativos de información, procesamiento para efectuar cálculos (comprobaciones, tendencias, promedios), presentación gráfica, almacenamiento en memorias auxiliares, etc. Estas funciones son, de gran interés para el posterior análisis del proceso de fabricación o transformación, posibilitando su mejora.

Las funciones de supervisión incluyen la comprobación de límites de tolerancia de variables del proceso con activación, si procede, de alarmas y las asistencias que facilitan las acciones manuales del operador sobre el proceso. Por lo que respecta a las funciones específicas de control, hay que señalar que, en estas tareas, a diferencia de las anteriormente mencionadas, la computadora no solo suministra mensajes e información, sino que, además, genera automáticamente señales de control sobre el proceso con objeto de que el funcionamiento de este sea el requerido. En este caso, el flujo de información proceso-computadora es normalmente bidireccional.

Los primeros estudios de viabilidad del empleo de la computadora en el control de procesos industriales datan de los años cincuenta. En 1959 un grupo de ingenieros de las empresas Thomson Ramo Woolridge y Texaco [1] diseñaron un sistema de control por computadora de una unidad de polimerización, en la cual se controlaban 26 flujos, 72 temperaturas, 3 presiones, y 3 composiciones. Se trataba de determinar una distribución óptima de las alimentaciones de 5 reactores, minimizando la presión en reactores, controlando los suministros de agua caliente a partir de medidas de actividad de los catalizadores, y determinando la recirculación óptima. Esta aplicación motiva el interés de las industrias de proceso, de los fabricantes de computadores, y de grupos de investigación.

Se efectuaron entonces otras aplicaciones en las cuales las computadoras se empleaban para supervisar el funcionamiento de controladores analógicos con objeto de mejorar las condiciones de trabajo, optimizar la producción, y realizar diversas tareas de tratamiento de control y supervisión como las mencionadas anteriormente. Aunque la tecnología de las computadoras de aquella época suponía una importante limitación, en 1962 existían ya 159 aplicaciones fundamentalmente en industrias del acero, químicas, y de generación de energía eléctrica.

En 1962 la firma inglesa Imperial Chemical Industries introdujo en sus instalaciones un nuevo avance consistente en sustituir los controladores analógicos de un proceso por una computadora que realizaba sus mismas funciones actuando directamente sobre el proceso [1]. La computadora media 224 variables y controlaba directamente 129 válvulas. En años posteriores el número de estas aplicaciones fue aumentando, y se acuñó la denominación de (Control Digital Directo) para hacer énfasis en que era la computadora la que actuaba directamente sobre el proceso.

A finales de los años sesenta y comienzos de los setentas las microcomputadoras encuentran una importante acogida en aplicaciones industriales. Fruto de ello es que el número de computadoras de proceso pasa a ser de 5000 en 1970 a unos 50 000 en 1975 [2]. Se utilizan entonces mayoritariamente microcomputadoras de 16 bits de palabra, con capacidad de memoria principal de 8 hasta 124 kilobyte, y provistos de unidad de disco flexible para almacenamiento secundario.

La aparición en 1972 del microprocesador suministra un impulso decisivo al control por computadora, haciendo rentables numerosísimas aplicaciones. Los avances en microelectrónicas de los años ochenta con la tecnología de los circuitos de gran escala de integración acentúan una tendencia, permitiendo que incluso pueda ser rentable la utilización de microprocesadores como elementos de control en tiempo real han contribuido también en forma importante a disminuir el costo del proyecto e implantación de los sistemas de control por computadora, aumentando su flexibilidad y seguridad de funcionamiento.

Según estimaciones de la sociedad norteamericana “Venture Development Corporation” el mercado de las computadoras destinadas a las aplicaciones de medida, control y supervisión experimentaban en 1983 un crecimiento anual superior al 34 % en unidades y de cerca del 16 % en valor. En los últimos años han experimentado un importante auge los sistemas de control descentralizado y jerarquizado con implantación mediante redes de computadoras.

La robótica constituye en la actualidad otro campo de aplicación de enormes posibilidades. En particular, el diseño de sistemas de control de robots presenta importantes problemas de estabilidad, tiempo de repuesta y precisión que atraen la atención de un número creciente de grupos de investigación, proporcionando un impulso considerable al desarrollo de la teoría de control.

1.2. Instrumentación Virtual

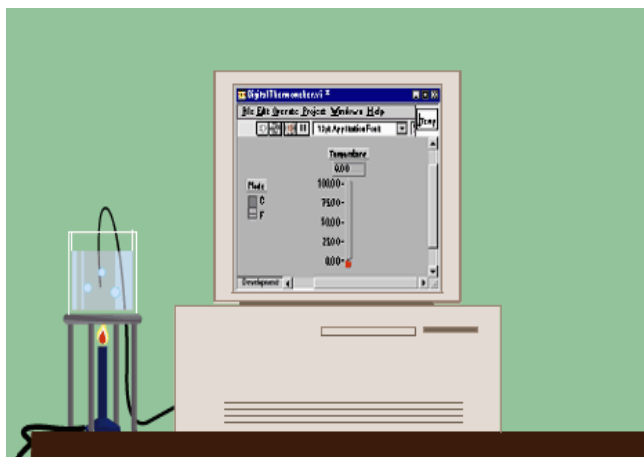


Figura 1.2

La pantalla de la computadora como panel frontal de un instrumento de medición [11].

Cuando se habla de instrumentos de medición, es normal pensar en un objeto rígido, en la que destaca su **panel frontal** lleno de botones, perillas y demás tipos de controles y visualizadores. En la cara oculta del panel están los **contactos** de esos controles que los unen físicamente con la circuitería interna. Esta **circuitería interna** se compone de circuitos integrados y otros elementos que procesan las señales de entrada en función del estado de los controles, devolviendo el resultado a los correspondientes visualizadores del panel frontal.

1.2.1. ¿Qué se entiende por instrumento virtual?

Un instrumento virtual es un módulo virtual de software que simula el panel frontal de instrumento como se muestra en la figura 1.2 que antes hemos comentado y, apoyándose en elementos de hardware accesibles por la computadora (tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, instrumentos accesibles vía GPIB, VXI, RS-232), realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

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

El control de instrumentos de medición por computadora no resulta nuevo; incluso el uso de la PC en sistemas de medida se usaba en los setenta mediante la interfase de bus IEEE 488 o GPIB (general purpose interface bus) [2]. Pero ha sido en los noventa cuando los procesadores de 16 y 32 bits se han incorporado a equipos accesibles, consiguiendo altas velocidades y grandes capacidades de memoria. Esta popularización de computadoras de altas prestaciones ha traído consigo un fuerte desarrollo de potentes paquetes de software que simplifican la creación de aplicaciones.

1.2.2. El Software LabView®

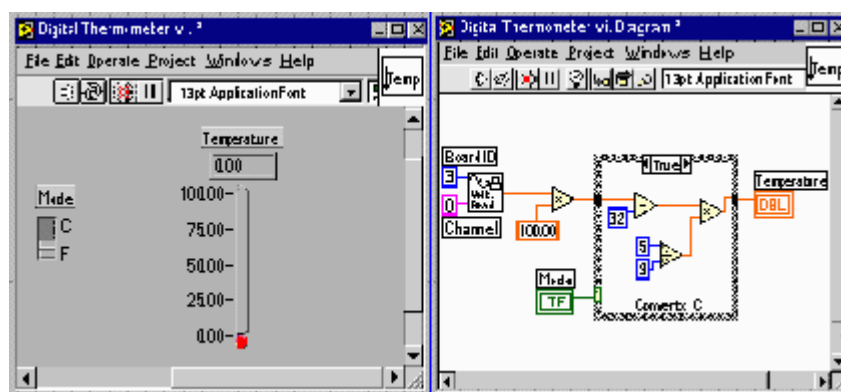


Figura 1.3

Plantillas de trabajo para la programación en LabVIEW® [11].

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabView permite diseñar interfaces del usuario mediante una consola interactiva basada en software como se muestra en la figura 1.3. Se puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. LabVIEW es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab®. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial. LabVIEW es muy utilizado en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

Cuando se diseña programas con LabVIEW está trabajando siempre bajo algo denominado VI, es decir, un instrumento virtual, se pueden crear VI a partir de especificaciones funcionales que uno mismo diseña. Este VI puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una subfunción dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por ser un cuadrado con su respectivo símbolo relacionado con su funcionalidad, tener una interfase con el usuario, tener entradas con su color de identificación de dato, tener una o varias salidas y por su puesto ser reutilizables. [11]

1.3. El Medio de Aplicación

1.3.1. Valoración del Nivel de Confort

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como una consecuencia de la aparición de las técnicas de acondicionamiento de aire, cuyo fin era justamente lograr que las personas se sintieran confortables y precisaban por tanto de métodos que permitieran evaluar en qué medida se alcanzaban sus objetivos; el más conocido de los índices de evaluación del confort fue la "temperatura efectiva", desarrollado por Yaglou y colaboradores en 1923 [3]. Desde entonces han aparecido muchos otros índices, pero la mayoría de ellos no engloban variables que en un ambiente industrial son de gran importancia, como la presencia de calor radiante, la intensidad de trabajo, etc., por lo que su utilidad en el campo laboral es muy limitada.

En este panorama la aparición en 1970 de la obra "Thermal Confort" de P.O. Fanger representó un avance sustancial, al incluir en el método de valoración propuesto la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente y que, por tanto, contribuyen a la sensación de confort; estas variables son:

Nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.

Por otra parte la presentación del resultado expresándolo como porcentaje de personas que se sentirán inconfortables en un ambiente determinado resulta de gran interés no sólo cuando se trata de evaluar una situación sino cuando se pretende proyectar o modificar un ambiente térmico.

1.3.2. Requerimientos para el confort térmico

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo. El equilibrio térmico en sí mismo está sin embargo lejos de proporcionar sensación de confort; en efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en una amplísima gama de combinaciones de situaciones ambientales y tasas de actividad pero sólo una estrecha franja de las mismas conducen a situaciones que el propio sujeto califique de confortables; la experiencia ha demostrado que para que se dé la sensación de confort debe cumplirse, además del equilibrio térmico, que tanto la temperatura de la piel como la cantidad de sudor secretado (y evaporado) deben estar comprendidos dentro de ciertos límites.

Los estudios de Fanger han demostrado que los valores de la temperatura de la piel y de la cantidad de sudor secretado en las situaciones confortables dependen del nivel de actividad a través de relaciones lineales; la temperatura de la piel es linealmente decreciente con el consumo metabólico mientras la cantidad de sudor evaporado crece linealmente con la actividad, siempre en el supuesto de hallarnos en situaciones confortables. [3]

La Introducción de las relaciones anteriores en la ecuación del balance térmico conduce a una expresión que Fanger llama la "**ecuación del confort**" que establece la relación que, en situaciones de confort, debe cumplirse entre tres tipos de variables:

- A) **Características del vestido:** aislamiento y área total del mismo.
- B) **Características del tipo de trabajo:** carga térmica metabólica y velocidad del aire.
- C) **Características del ambiente:** temperatura seca, temperatura radiante media, presión parcial del vapor de agua en el aire y velocidad del aire.

La inclusión de la velocidad del aire en los apartados B) y C) se debe a considerar la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo tiene dos componentes: una, la velocidad que tendría el aire respecto al cuerpo y si éste estuviera quieto y otra, la velocidad debida al movimiento del cuerpo respecto a aire tranquilo; la suma de ambos valores es lo que llamaremos velocidad relativa del aire respecto al cuerpo.

En esta tesis se presentan los resultados de la instrumentación de una sala de laboratorio de diseño ambiental en la cual se pueden crear y monitorear diferentes condiciones ambientales que permiten valorar las condiciones de confort y sirvan de parámetro para el diseño de casas habitación o estancias de trabajo.

1.4. Variables a Medir

1.4.1. Temperatura

Temperatura.- Medir la temperatura es relativamente un concepto nuevo. Los primeros científicos entendían la diferencia entre 'frío' y 'caliente', pero no tenían un método para cuantificar los diferentes grados de calor hasta el siglo XVII. En 1597, el astrónomo Italiano Galileo Galilei inventó un simple termoscopio de agua, un artificio que consiste en un largo tubo de cristal invertido en una jarra sellada que contenía agua y aire. Cuando la jarra era calentada, el aire se expandía y empujaba hacia arriba el líquido en el tubo. El nivel del agua en el tubo podía ser comparado a diferentes temperaturas para mostrar los cambios relativos cuando se añadía o se retiraba calor, pero el termoscopio no permitía cuantificar la temperatura fácilmente [7] .

Varios años después, el físico e inventor italiano Santorio Santorio mejoró el diseño de Galileo añadiendo una escala numérica al termoscopio. Estos primeros termoscopios dieron paso al desarrollo de los termómetros llenos de líquido comúnmente usados hoy en día. Los termómetros modernos funcionan sobre la base de la tendencia de algunos líquidos a expandirse cuándo se calientan. Cuando el fluido dentro del termómetro absorbe calor, se expande, ocupando un volumen mayor y forzando la subida del nivel del fluido dentro del tubo. Cuando el fluido se enfría, se contrae, ocupando un volumen menor y causando la caída del nivel del fluido.

La temperatura es la medida de la cantidad de energía de un objeto. Ya que la temperatura es una medida relativa, las escalas que se basan en puntos de referencia deben ser usadas para medir la temperatura con precisión. Hay tres escalas comúnmente usadas actualmente para medir la temperatura: la escala Fahrenheit (°F), la escala Celsius (°C), y la escala Kelvin (K). Cada una de estas escalas usa una serie de divisiones basadas en diferentes puntos de referencia tal como se describe enseguida.

Fahrenheit

Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) era un físico Alemán que inventó el termómetro de alcohol en 1709 y el termómetro de mercurio en 1714 [9]. La escala de temperatura Fahrenheit fue desarrollada en 1724. Fahrenheit originalmente estableció una escala en la que la temperatura de una mezcla de hielo-agua-sal estaba fijada a 0 grados. La temperatura de una mezcla de hielo-agua (sin sal) estaba fijada a 30 grados y la temperatura del cuerpo humano a 96 grados. Fahrenheit midió la temperatura del agua hirviendo a 212°F, haciendo que el intervalo entre el punto de ebullición y congelamiento del agua fuera de 180 grados (y haciendo que la temperatura del cuerpo fuese 98.6°F). La escala Fahrenheit es comúnmente usada en Estados Unidos.

Celsius

Anders Celsius (1701-1744) fue un astrónomo suizo que inventó la escala centígrada en 1742 [9]. Celsius escogió el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua como sus dos temperaturas de referencia para dar con un método simple y consistente de un termómetro de calibración. Celsius dividió la diferencia en la temperatura entre el punto de congelamiento y de ebullición del agua en 100 grados (de ahí el nombre centi, que quiere decir cien, y grado). Después de la muerte de Celsius, la escala centígrada fue llamada escala Celsius y el punto de congelamiento del agua se fijó en 0°C y el punto de ebullición del agua en 100°C. La escala Celsius toma precedencia sobre la escala Fahrenheit en la investigación científica porque es más compatible con el formato basado en los decimales del Sistema Internacional (SI) del Sistema Métrico. Además, la escala de temperatura Celsius es comúnmente usada en la mayoría de países en el mundo, aparte de Estados Unidos.

Kelvin

La tercera escala para medir la temperatura es comúnmente llamada Kelvin (K). Lord William Kelvin (1824-1907) fue un físico escocés que inventó la escala en 1854 [9]. La escala Kelvin está basada en la idea del cero absoluto, la temperatura teórica en la que todo el movimiento molecular se para y no se puede detectar ninguna energía. En teoría, el punto cero de la escala Kelvin es la temperatura más baja que existe en el universo: -273.15°C . La escala Kelvin usa la misma unidad de división que la escala Celsius. Sin embargo vuelve a colocar el punto cero en el cero absoluto: -273.15°C . Es así que el punto de congelamiento del agua es 273.15 Kelvin (las graduaciones son llamadas Kelvins en la escala y no usa ni el término grado ni el símbolo $^{\circ}$) y 373.15 K es el punto de ebullición del agua. La escala Kelvin, como la escala Celsius, es una unidad de medida estándar del SI, usada comúnmente en las medidas científicas. Puesto que no hay números negativos en la escala Kelvin (porque teóricamente nada puede ser más frío que el cero absoluto), es muy conveniente usar la escala Kelvin en la investigación científica cuando se mide temperatura extremadamente baja.

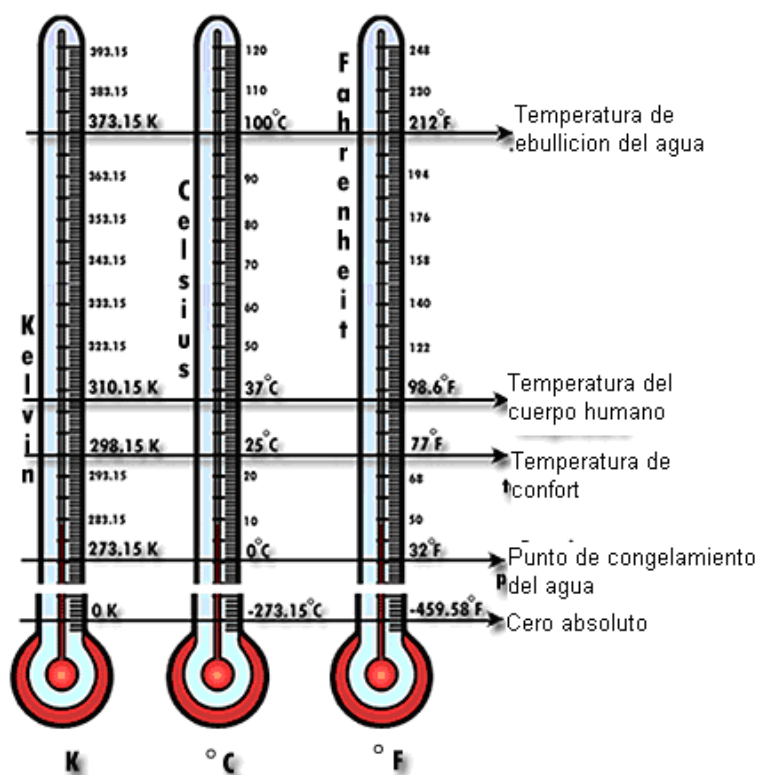


Figura 1.4
Escalas de medición de temperatura [13].

De	Fahrenheit	Celsius	Kelvin
°F	F	$(^{\circ}\text{F} - 32)/1.8$	$(^{\circ}\text{F} - 32) * 5/9 + 273.15$
°C	$(^{\circ}\text{C} * 1.8) + 32$	C	$^{\circ}\text{C} + 273.15$
K	$(\text{K} - 273.15) * 9/5 + 32$	$\text{K} - 273.15$	K

Tabla 1.1

Equivalencias entre escalas de temperatura.

1.4.2. Medición de Temperatura

La medición de temperatura se puede realizar por dos métodos diferentes; medición por contacto (El elemento transductor debe de estar en contacto con el medio a sensar) y medición sin contacto (Este es un método óptico).

El método sin contacto se usa cuando el método por contacto no puede ser usado por ejemplo:

- a) El objeto a medir esta en movimiento constante
- b) Cuando existen condiciones peligrosas (Contaminación, altos voltajes, etc.)
- c) Cuando la distancia es muy grande
- d) Cuando la temperatura es tan alta que no se pueden usar los elementos de contacto.

En este caso se utiliza un instrumento llamado Pirómetro que utiliza un haz de luz infrarroja de tipo normar o láser, que mide su emisividad. (Emisividad es la razón entre la energía radiante de un objeto a cierta temperatura con respecto a la energía emitida por un radiador de luz perfecto, o un cuerpo oscuro, a la misma temperatura).

El método por contacto se puede dividir en dos que son:

- a) Medición por penetración o inmersión que se utiliza para medir temperatura de sólidos o líquidos.
- b) Medición de temperatura circundante para atmósferas gaseosas.

Para elegir el transductor adecuado para medir temperatura existen varios factores (mostrados en la tabla 1.2) a ponderar, en este orden:

- a) *Rango a medir*
- b) *Exactitud*
- c) *Tiempo de respuesta*
- d) *Linealidad*
- e) *Precio*

Transductor	Rango	Exactitud	Tiempo de Respuesta	Linealidad	Precio/Costo
Termopar O termocupla	-100°C a 1750°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$	Rápido	Pobre	Barato/Caro
Termistor	-30°C a 275°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	Rápido	Muy Pobre	Barato/Caro
RTD	-200° a 600°C	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	Rápido	Buena	Caro/Barato
Sensor de Estado Sólido	-40°C a 200°C	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	Lento	Muy Buena	Barato/Barato

Tabla 1.2

Transductores de temperatura.

1.4.3. Humedad Relativa

La humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o el grado de humedad.

Humedad absoluta es el número de gramos de vapor de agua contenido en un metro de aire. Se expresa en g (de vapor de agua)/m³ (de aire). Esta medida es independiente de la temperatura o la presión.

La cantidad de agua máxima que puede admitir el aire sin condensación varía con la temperatura y la presión atmosférica. También la facilidad con la que este absorbe el vapor de agua. En el caso de que el aire no pueda admitir más agua se dice que el aire está saturado y tendría una humedad relativa del 100%.

La Humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir, sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Si una masa de aire tiene una cantidad del 50% de agua respecto a la máxima que podría admitir, su humedad relativa es del 50%.

Como la capacidad del aire para absorber humedad varía con la temperatura, la humedad relativa aumenta cuando desciende la temperatura; aunque la humedad absoluta se mantenga invariable.

Para la comodidad humana es mucho más importante la humedad relativa puesto que cuanto mayor sea la capacidad del aire para absorber el vapor, mejor funciona el sistema de evapotranspiración, que es el mecanismo de regulación de la temperatura del cuerpo, aunque si es excesivamente baja, se secan las mucosas (nariz, boca) y se es más propenso a la entrada de microbios patógenos. El grado de humedad más adecuado para la comodidad del ser humano está comprendido entre 40-70%.

Cuando hace calor y humedad, se dice que el calor es pegajoso porque al sudor le cuesta evaporarse y permanece en la piel.

Para el clima, también es más importante la humedad relativa, ya que una masa de aire saturada, o cercana a la saturación, es una masa de aire húmedo y las plantas pueden aprovechar esa humedad, mientras que de una masa de aire más seco no, aunque tenga mayor humedad absoluta.

Cuando la humedad llega al 100%, y empieza a condensar la humedad, se está en el punto de rocío y este se puede formar. Esta condensación se produce sobre los objetos, el llamado rocío o, si hace mucho frío, la escarcha. Si se produce en el mismo aire, forman una neblina. Para que se produzca esta neblina debe haber unas pequeñas partículas en el aire, llamadas núcleos de condensación, donde se condense el agua.

Los núcleos de condensación, puede ser polvo, granos de polen, esporas, cristales de sal, etc. En caso de que no existiesen núcleos de condensación en el aire, algo muy difícil de conseguir, podrían alcanzarse humedades relativas de hasta el 300% sin producirse ninguna neblina.

1.4.4. Medición de humedad relativa

La humedad relativa se puede medir mediante un instrumento denominado higrómetro o un psicómetro. Un psicómetro esta formado por un termómetro de bulbo húmedo y un termómetro seco. Se mide la temperatura húmeda y puede obtenerse la humedad relativa mediante el ábaco higrométrico, comparándola con la temperatura real del termómetro seco.

En la actualidad existen sensores de estado sólido que presentan una variación capacitiva con respecto a la humedad relativa, con una linealidad casi perfecta.

Para obtener la humedad absoluta, se debe calcular a partir de la humedad relativa y la temperatura.

1.4.5. La luz

Aproximadamente el 80% de todas las sensaciones se experimentan a través de los ojos, para ello es indispensable la luz. En el proceso de la vista se necesita el 25% de la energía humana. La luz es una radiación electromagnética que está compuesta por ondas de longitudes que van desde los 380nm hasta los 770nm, que se experimentan a través del ojo como la sensación de la luz.

Los humanos somos dependientes de la luz, el cansancio debido a una iluminación escasa se siente más en el organismo en su conjunto que en los ojos. Por este motivo una iluminación defectuosa puede ser causa de accidentes o una baja productividad. Es por eso que la medición de iluminancia es muy importante en nuestro proyecto, porque el propósito del diseño ambiental es el de crear ambientes óptimos para la habitación, educación y desarrollo de actividades productivas del ser humano.

Cuando se habla en fotometría de magnitudes y unidades de medida se definen una serie de términos y leyes que describen el comportamiento de la luz y sirven como herramientas de cálculo. Pero no hemos de olvidar que las hipótesis utilizadas para definirlos son muy restrictivas (fuente puntual, distribución del flujo esférico y homogéneo, etc.). Aunque esto no invalida los resultados y conclusiones obtenidas, nos obliga a buscar nuevas herramientas de trabajo, que describan mejor la realidad, como son las tablas, gráficos o programas de cálculo. De todos los inconvenientes planteados, el más grave se encuentra en la forma de la distribución del flujo luminoso que depende de las características de las fuentes de luz y lámparas empleadas como se muestra en la figura 1.5.

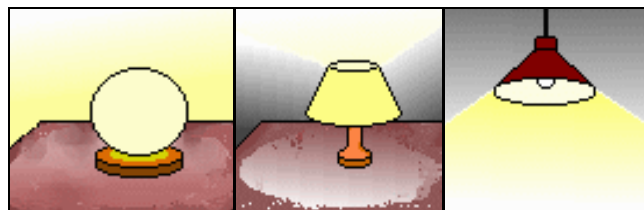


Figura 1.5

Influencia de la fuente en la forma del haz de luz [13].

Este parámetro (la distribución del flujo luminoso) es de fundamental importancia para el diseño arquitectónico si queremos optimizar la instalación o en temas como la iluminación de calles, decorativa, de industrias o de instalaciones deportivas.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía que se mide en joules (J) en el Sistema Internacional, pero no toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una lámpara fluorescente se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello se definen algunas magnitudes: el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia, la luminancia, el rendimiento o eficacia luminosa y la cantidad de luz.

Flujo Luminoso

Para darnos una idea consideraremos dos focos de filamento, uno de 25 W y otro de 60 W. Está claro que el de 60 W dará una luz más intensa. Pero si tenemos una lámpara fluorescente de 30 W esta iluminará más que ambos. Pues bien, esta es la idea: ¿cuál ilumina más? o dicho de otra forma ¿cuánto luce cada foco?

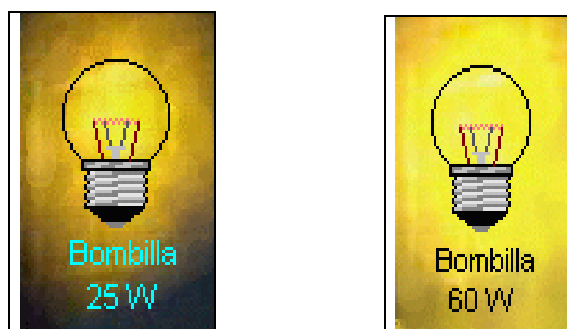


Figura 1.6
Diferente flujo luminoso correspondiente a diferente potencia consumida [13].

En la figura 1.6 cuando hablamos de 25 W o 60 W nos referimos sólo a la potencia consumida por el foco de la cual sólo una parte se convierte en luz visible como se muestra en la figura 1.13, es el llamado flujo luminoso. La unidad de medida de este flujo luminoso es el **lumen**, que toma como referencia de medida sólo la radiación visible. Empíricamente se define que a una radiación de 555 nm de 1 W de potencia emitida por un cuerpo negro (Es aquel que absorbe toda la energía en forma de radiación que incide sobre él en cualquier dirección y longitud de onda y emite la máxima radiación posible a cualquier temperatura. En resumen, es un absorbedor y un emisor perfecto) le corresponden 683 lumen.

Se define el **flujo luminoso** como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible [4]. Como se muestra en la tabla 1.3 su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

1 watt-luz a 555 nm = 683 lm	
Flujo luminoso	Símbolo: Φ
	Unidad: lumen (lm)

Tabla 1.3
Unidades de medición de flujo luminoso.

Intensidad luminosa

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo un foco, en todas las direcciones del espacio. Pero, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa (figura 1.7).

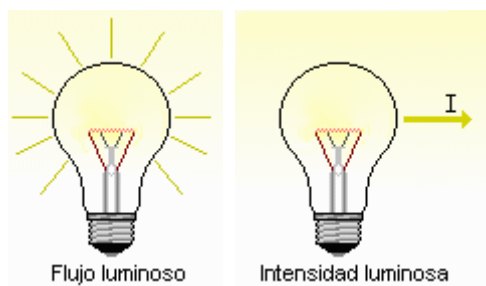


Figura 1.7
Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

Se conoce como **intensidad luminosa** al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd) como se muestra en la figura 1.8.



$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ [candelas]}$$

Figura 1.8
Intensidad luminosa

1.4.6. Concepto iluminancia

Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver esta fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.



Figura 1.9
Concepto de iluminancia.

Se define **iluminancia** como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m^2 . [4]

Iluminancia $E = \frac{\Phi}{S}$	Símbolo: E	$\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$
	Unidad: lux (lx)	

Tabla 1.4

Unidades de Iluminancia.

Existe también otra unidad, el *foot-candle* (fc), utilizada en países de habla inglesa cuya relación con el lux es:

$1 \text{ fc} \approx 10 \text{ lx}$
$1 \text{ lx} \approx 0.1 \text{ fc}$

Tabla 1.5

Equivalencia de unidades de Iluminancia.

En el ejemplo de la linterna ya pudimos ver que la iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado. Es algo similar a lo que ocurre cuando oímos alejarse a un coche; al principio se oye alto y claro, pero después va disminuyendo hasta perderse. Lo que ocurre con la iluminancia se conoce por la ley inversa de los cuadrados que relaciona la intensidad luminosa (I) y la distancia a la fuente (figura 1.10). Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

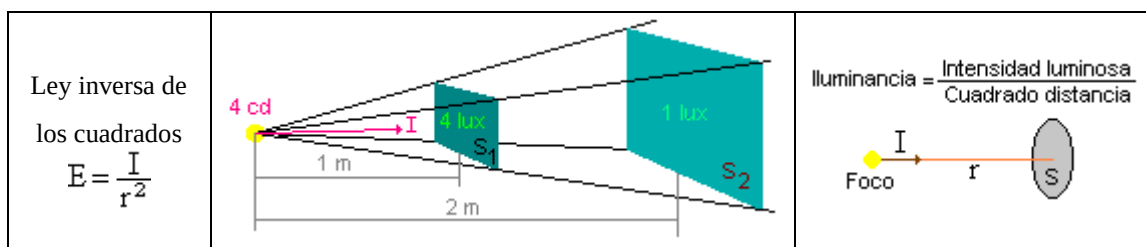


Figura 1.10

Ley Inversa de los Cuadrados.

¿Qué ocurre si el rayo no es perpendicular? En este caso hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie (figura 1.11).

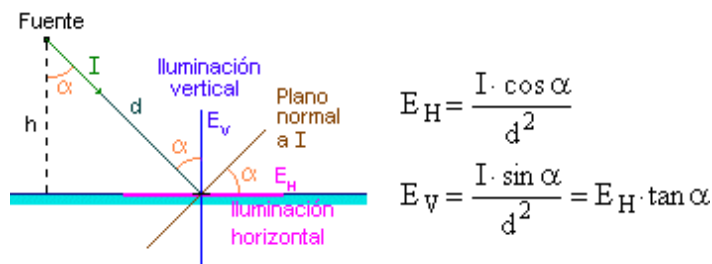


Figura 1.11

Ley del Coseno.

A la componente horizontal de la iluminancia (E_H) se le conoce como la ley del coseno. Es fácil ver que si $\alpha = 0$ nos queda la ley inversa de los cuadrados. Si expresamos E_H y E_V en función de la distancia del foco a la superficie (h) nos queda:

$$E_H = \frac{I \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_V = \frac{I \cos^2 \alpha \operatorname{sen} \alpha}{h^2}$$

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cos^2 \alpha_i \operatorname{sen} \alpha_i}{h_i^2}$$

Luminancia

Los términos anteriores se refieren mas a las propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero una medida de percepción es la Luminancia que depende de la cantidad o fracción de intensidad de luz que llega al ojo humano. De esto trata la luminancia. Tanto en el caso que veamos un foco luminoso como en el que veamos luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma. Se llama **luminancia** a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 . También es posible encontrar otras unidades como el stilb ($1 \text{ sb} = 1 \text{ cd}/\text{cm}^2$) o el nit ($1 \text{ nt} = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$).

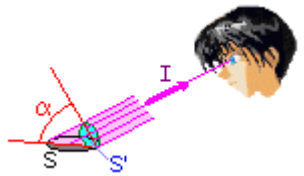
$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cos \alpha}$	Símbolo: L	
	Unidad: cd/m^2	

Figura 1.12

Concepto de Luminancia.

Es importante destacar que sólo vemos luminancias, no iluminancias (fig. no.12). Pero como es una medida de apreciación, para fines científicos prácticos se prefiere dar más importancia a la iluminancia.

Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa

Ya mencionamos al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (bombilla, fluorescente, etc.) se transformaba en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc. Como se muestra en la figura 1.13

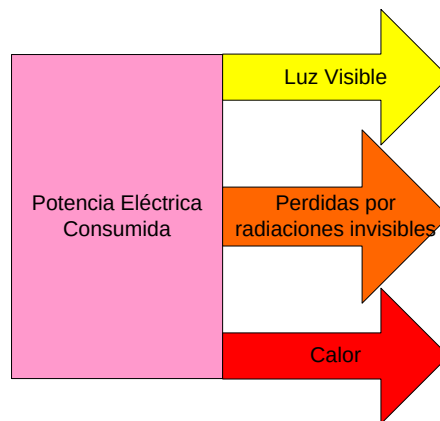


Figura 1.13
Solo una fracción de potencia se convierte en luz visible.

Para hacernos una idea de la porción de energía útil definimos el **rendimiento luminoso** como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25 W, 60 W...). Mientras mayor sea mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt (lm/W) como se muestra en la tabla 1.6..

Rendimiento luminoso $\eta = \frac{\Phi}{W}$	Símbolo: η	Rendimiento = $\frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$
	Unidad: lm / W	

Tabla 1.6
Unidades de medida del Rendimiento luminoso.

Cantidad de luz

Esta magnitud sólo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de dar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo. Su símbolo es Q y su unidad es el lumen por segundo ($\text{lm}\cdot\text{s}$) [5].

La iluminancia es entonces el parámetro que se toma en cuenta para determinar si un lugar se encuentra adecuadamente iluminado para tal o cual actividad sea cotidiana o de trabajo. Y es este parámetro precisamente el que se debe de tomar en cuenta para el diseño ambiental de los espacios habitacionales, y las áreas de trabajo industriales.

En la tabla 1.7 se muestra un resumen los niveles mínimos de iluminancia requeridos para determinadas áreas de trabajo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	LUXES
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia,	200

máquina.	cuartos de compresores y pailería.	
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión Salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2,000

Tabla 1.7

Parámetros Mínimos Marcados por La Norma Oficial Mexicana Respecto a Iluminación [18].

1.4.7. El Sonido

En el diseño ambiental de espacios físicos lo importante es la creación de confort y una de las variables más importante es la acústica, o sea el comportamiento del sonido dentro de un espacio habitable

El Sonido:

Componentes físicas del sonido:

El sonido está formado por ondas que se propagan a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas.

Las ondas a las que llamamos sonoras son las que pueden estimular al oído y al cerebro humano dentro de ciertos límites que son aproximadamente de 20 Hz a cerca de 20Khz. Estos son los límites audibles, las ondas de sonido inferiores al límite audible se llaman infrasónicas y las que superan el límite superior se llaman ultrasónicas.

Medio de propagación del sonido: ¿Cómo llega el sonido hasta nuestros oídos? Cuando arrojamamos una piedra al agua la misma genera una serie de ondulaciones en la superficie que se dispersan y propagan hacia todas direcciones. Esto sucede porque las partículas del agua oscilan y transmiten su movimiento a las partículas contiguas sucesivamente en todo el volumen de agua. Luego de cierta longitud desde el impacto las ondulaciones se atenúan hasta desaparecer.

El sonido llega a nuestros oídos gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten su oscilación.

La Velocidad del Sonido

Según el medio donde se transmita el sonido será más lento o más rápido.

El sonido viaja en el aire a 331,3 metros por segundo y en el agua a 1.450 metros por segundo. La transmisión del sonido es más rápida en el agua porque sus partículas están mas juntas y propagan antes la vibración. **[6]**

El sonido puro. ¿Cómo es la onda del sonido de una flauta?

Un sonido puro es aquel que está compuesto por ondas que poseen una frecuencia y longitud de onda iguales en el transcurso del tiempo, es decir, que es constante. Por ejemplo, la flauta dulce, el silbato, una cuerda de guitarra, una nota en la escala musical, un silbido, etc., pueden emitir ondas puras.

1.4.8. El ruido acústico y su medición.

El Ruido: ¿Ruido o Sonido?

El ruido es un sonido o conjunto de sonidos mezclados y desordenados. Si vemos las ondas de un ruido observaremos que no poseen una longitud de onda, frecuencia, ni amplitud constantes y que se distribuyen aleatoriamente unas sobre otras.

En un sonido musical las ondas de distintas frecuencias se superponen ordenadamente siguiendo una estructura armónica en función del tiempo. Por estas causas un ruido es desagradable para el oído y una pieza musical puede resultar placentera.

La música es el arte de combinar los sonidos formando melodías y armonías, todo lo contrario al ruido.

Ruidos de colores: Rosa, Blanco, Marrón

Un sonido agudo como un Piiiiiii nos puede recordar a un color claro. Un sonido grave como un Buuuuu nos puede recordar a un color oscuro. Existen tres tipos de ruidos básicos: el ruido blanco que se compone de todas las frecuencias audibles a la misma amplitud y es parecido a un Shshshshsh también producido por el televisor cuando se corta la recepción. El ruido rosa que se compone principalmente por frecuencias graves y agudas, medias atenuadas, parecidas a un Fsfsfsfsfs (pronunciando la "f" y la "s" al mismo tiempo). El ruido marrón compuesto principalmente por ondas graves y medias, parecidas a un Jfjfjfjfjfjfjf (pronunciando la "j" y la "f" al mismo tiempo).

Medidores de nivel sonoro

Para tal caso se utilizan medidores llamados decibelímetros que generalmente constan de un micrófono patrón, extremadamente calibrado y que responde a todas las frecuencias audibles por igual. En la figura 1.14 se muestra un “Mapa del sonido” en donde podemos observar los umbrales de lo audible y del dolor para el oído humano.

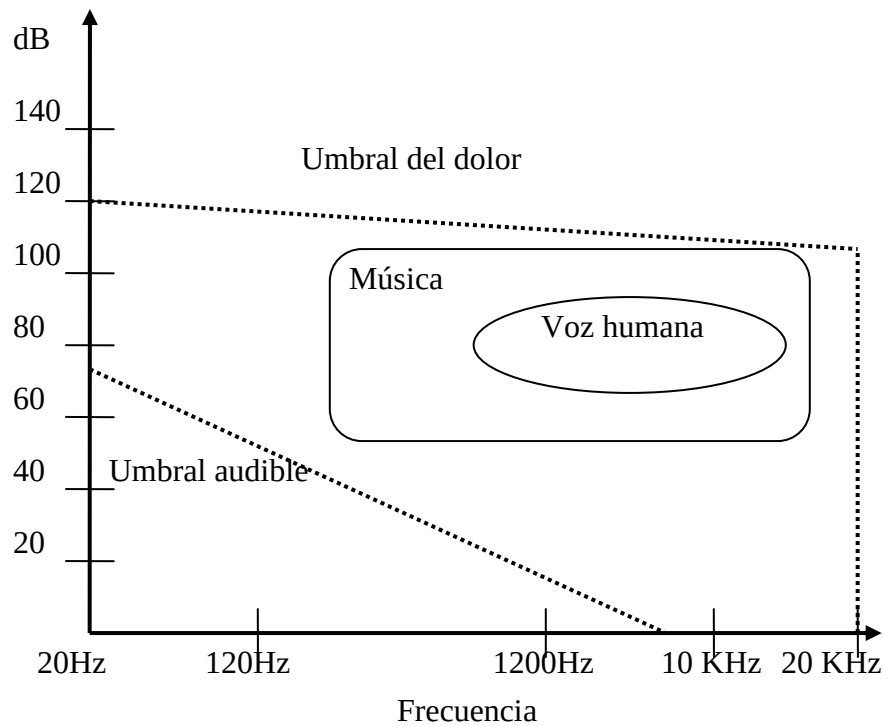


Figura 1.14
Mapa del Sonido

El Decibel (Decibelio)

El Decibel (La décima parte de un Bel) es una unidad logarítmica de una razón (relación) entre dos parámetros, que pueden ser potencia, voltaje, corriente, presión del sonido etc.

Presión de sonido. El sonido es usualmente medido por micrófonos que responden con una señal eléctrica aproximadamente proporcional a la presión acústica (p). La potencia de un sonido es proporcional al cuadrado de dicha presión (p), de manera similar que en un circuito eléctrico la potencia en una resistencia es proporcional al cuadrado del voltaje.

$$X \text{ Bel} = \text{Log} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad X \text{ dB} = 10 \text{ Log} \left(\frac{p_1^2}{p_2^2} \right) \quad X \text{ dB} = 20 \text{ Log} \left(\frac{p_1}{p_2} \right)$$

Para la medición del sonido se toma como referencia de medición (p_2) una presión de 20 micropascales ($20\mu\text{Pa}$) que es considerada el umbral de la sensibilidad del oído humano.

1.4.9. Medición de la velocidad del aire

La medida de la velocidad del aire es una actividad cada día más común, ya no sólo en el ámbito de la aerodinámica experimental, sino también en actividades relacionadas con la calidad del aire en el interior de edificios, contaminación y gases emitidos a la atmósfera o con la generación de energía eléctrica con aerogeneradores de alto rendimiento.

Cuando se precisa medir correctamente o incluso certificar las medidas efectuadas se necesita conocer el valor medio de las medidas, su incertidumbre y la trazabilidad de las mismas por todo ello es preciso disponer de patrones metrológico de alto nivel.

Anemómetro Aparato utilizado para medir la velocidad o fuerza del viento. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas (fluctuaciones habituales del viento) se producen con tal frecuencia que restan interés a dicha medición, por lo que se toma siempre un valor medio en intervalos de tiempo [6].

Existe gran diversidad de anemómetros.

1. Los de **empuje** están formados por una esfera hueca y ligera (Daloze) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante.
2. El anemómetro **de rotación** está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente; en los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa.
3. El anemómetro **de compresión** se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática), y el otro sólo con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento

CAPITULO 2

Diseño y Desarrollo del Prototipo (El Hardware)

En este capitulo se muestra el desarrollo del diseño y la integración del sistema (prototipo mostrado en la figura 2.1) para la experimentación del proyecto. Primeramente se describen los sensores utilizados para la medición de las variables y los circuitos diseñados para el acondicionamiento de señal de cada uno de ellos, para después hacer una descripción de la tarjeta de adquisición y procesamiento de datos. Terminando por describirlos circuitos de acondicionamiento de salida y los actuadores utilizados para generar los cambios en las variables manipuladas.

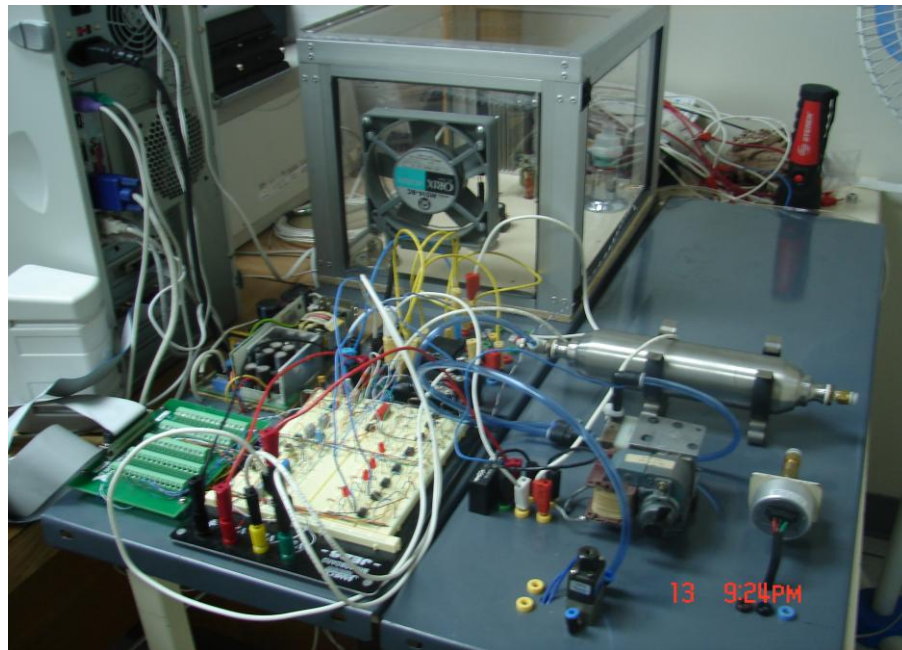


Figura 2.1

Prototipo (Hardware).

2.1. Sensores y Circuitos de Acondicionamiento.

Los sensores utilizados se muestran en la figura 2.2. Para la medición de la temperatura ambiente se utilizó un sensor de estado sólido para aprovechar su linealidad y no necesidad de compensación, teniendo en cuenta que como la temperatura ambiente varía de manera lenta la rapidez de sensado no es crítica. En cambio para la medición de la temperatura radiante se utilizó una termocupla tipo K dado que la velocidad de cambio de temperatura en el bloque de aluminio utilizado como radiador (que está acoplado físicamente con la resistencia térmica generadora de calor) es mucho mayor.

Para la medición de iluminancia se utilizó una fotocelda de selenio que genera una corriente proporcional a la iluminancia recibida. Para la medición de la humedad relativa el elemento primario utilizado fue un sensor de salida capacitiva colocado en la parte inferior de una de las paredes del prototipo.

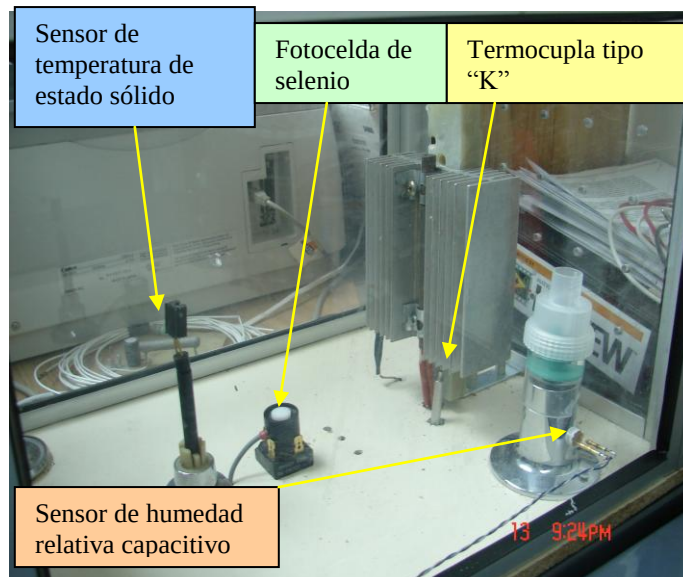


Figura 2.2
Sensores utilizados en el prototipo.

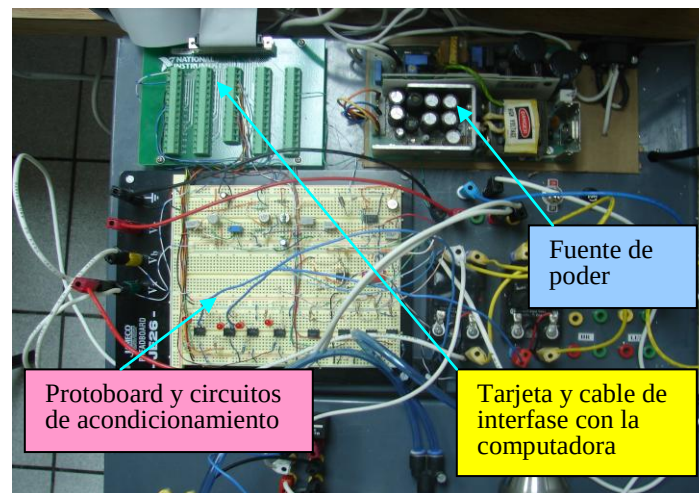


Figura 2.3

Circuitos de acondicionamiento.

Los circuitos de acondicionamiento diseñados y explicados mas adelante en este capítulo fueron armados en una tabla de prototipos (“Protoboard”) y alimentados con una fuente de poder triple (mostrados en la figura 2.3)

2.1.1. Medición de Temperatura Ambiente.

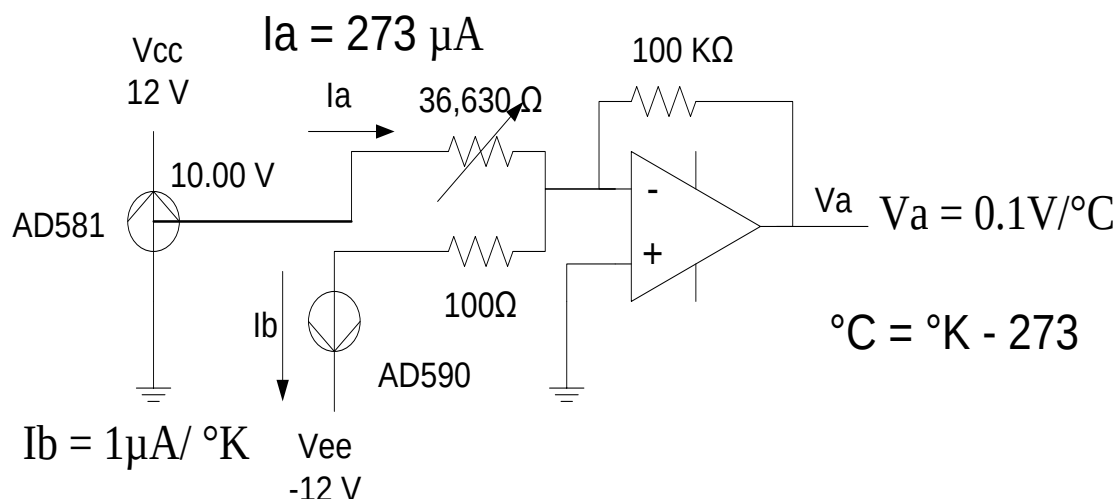


Figura 2.4

Circuito para medición de temperatura ambiente.

De los elementos utilizados para la medición de temperatura descritos en el capítulo 1 el más adecuado para la medición de la temperatura ambiente es el sensor de estado sólido por su linealidad y precisión, además si este cuenta con salida de corriente, elimina las pérdidas debido a la longitud de los cables de conexión, es por esto que se eligió el AD590 para este proyecto.

El AD590 es un sensor de temperatura de 2 terminales que genera una corriente de salida proporcional a una temperatura absoluta sobre un amplio rango de temperatura ($-55^{\circ}C$ a $125^{\circ}C$). Para voltajes de alimentación entre +4V y +30V el dispositivo actúa como un regulador de corriente constante y alta impedancia pasando 1microamp/K. Se usa un potenciómetro interno regulado por láser para calibrar el dispositivo con 298.2 microamperios de salida a 298.2K ($+25^{\circ}C$) [12].

El AD581 es una referencia de voltaje de 10.00 V, que al conectarle una resistencia de 36,630 Ω genera una corriente de 273 μA [12].

Dado que la salida del sensor esta dada en unidades de corriente y además en una escala de grados Kelvin, es necesario el acondicionamiento de la señal para tener variaciones de voltaje y en una escala de grados centígrados 100 mV/ $^{\circ}C$.

Se diseñó el circuito mostrado en la figura 2.4 esta compuesto por un amplificador operacional (LF116) que actúa como un amplificador de corriente a voltaje, en el cual, el voltaje de salida esta dado por $V_{out} = -I_f R_f$ y la corriente de retroalimentación $I_f = I_a - I_b$ donde $I_a =$ La corriente que va a convertir la escala Kelvin en la escala de grados centígrados, que debe de ser $273 \mu A$, y $I_b =$ La corriente con respecto a la temperatura $1 \mu A/K$. Por lo tanto el $V_{out} = 100 mV/^{\circ}C$

El circuito fue calibrado tomando como referencia (patrón) un termómetro de mercurio.

2.1.2. Medición de Temperatura Radiante.

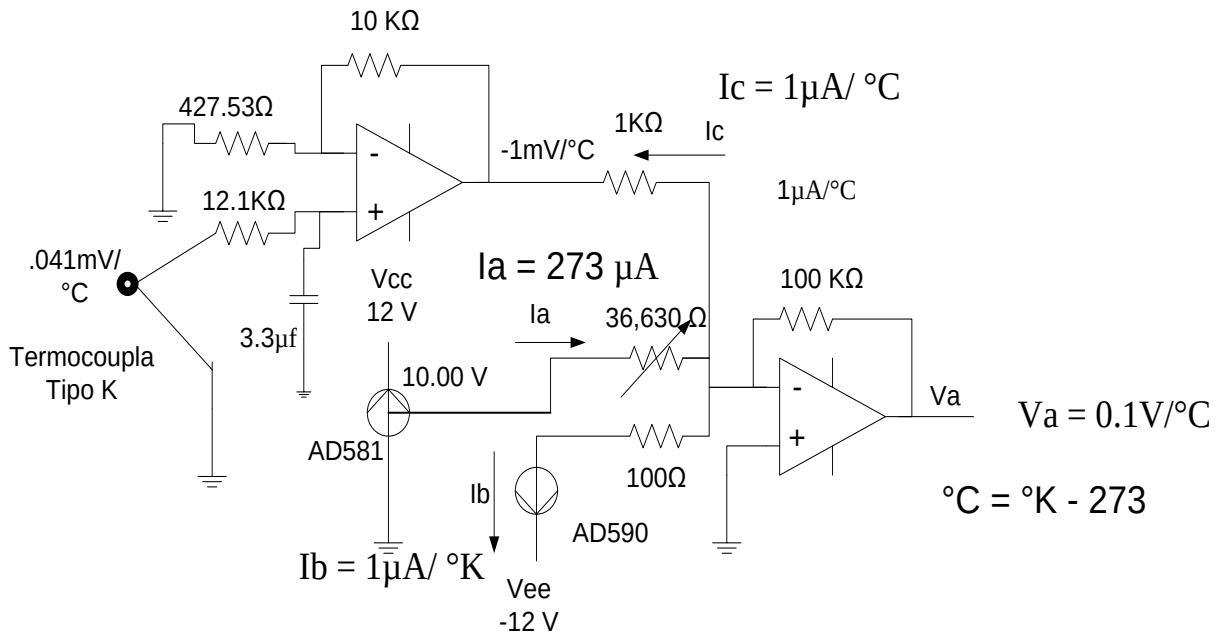


Figura 2.5

Circuito para medición de temperatura radiante.

Para la medición de la temperatura radiante se utilizó una termocoupla tipo “K”, esto por tener un mayor rango de medida ($0 - 1200^{\circ}\text{C}$) y una mayor velocidad de respuesta. Aunque el rango utilizado es mucho más pequeño (0 a 100°C) esto nos permite tomar solo una zona de la curva de su comportamiento y aproximarla a un comportamiento lineal.

Una termocoupla funciona bajo el principio de Seebeck, que establece que:

Un par termoeléctrico es un conjunto de dos conductores metálicos distintos A y B, unidos por los extremos, cuyas uniones se mantienen a temperaturas distintas. En estas condiciones existe entre sus extremos una diferencia de potencial llamada fuerza electromotriz termoeléctrica (efecto Seebeck) que puede medirse cortando uno de los alambres y uniendo los extremos a un potenciómetro o a un voltímetro digital electrónico de gran impedancia. El voltaje generado depende exclusivamente de la naturaleza de los metales utilizados y de la diferencia de temperaturas de las dos uniones. En la práctica una de éstas se mantiene a la temperatura de cero grados centígrados (unión fría) y la otra (unión caliente) se encuentra a la temperatura que se desea medir. Se utiliza como termómetro y como generador de corriente”[15].

La termocupla tipo “K” esta compuesta por alambres de Níquel-Cromo y Níquel llamados también Cromel y Alumel (NiCr-Ni). Si tomamos en cuenta que utilizaremos sólo un pequeño segmento de su rango de operación, podemos considerar que presenta un comportamiento lineal, proporcionando un voltaje de .041 mV/°C. (Valor obtenido de la caracterización de la misma).

Dado que el voltaje obtenido de la termocupla es proporcional a la diferencia de temperatura entre sus uniones, esto es la diferencia de temperatura de la unión caliente con la unión fría, y como esta última es la temperatura ambiente, para obtener la temperatura real, al voltaje medido de la termocupla se le tiene que agregar otro que represente la temperatura ambiente. A esto se le llama compensación de cero.

Para realizar esta compensación se diseño el circuito mostrado en la figura 2.5 en el cual se utiliza un sensor de temperatura de estado sólido AD590 utilizado anteriormente, pero éste instalado en la proximidad de las uniones frías de la termocupla. En este circuito primeramente se cuenta con un filtro pasa-bajas con una frecuencia de corte de aproximadamente 4 Hz. Y un amplificador no inversor cuya ganancia de voltaje fue calculada para obtener a su salida (-1mV/°C). En la segunda etapa se utiliza un segundo amplificador operacional pero este en una configuración de convertidor de corriente a voltaje, en el cual se realiza una operación de sumas de corrientes y su conversión a voltaje de la siguiente manera:

El voltaje de salida esta dado por $V_{out} = -I_f R_f$ y la corriente de retroalimentación por $I_f = I_a - I_b + I_c$ donde I_a = La corriente que va a convertir la escala Kelvin en la escala de Grados Centígrados, que debe de ser 273 μA , I_b = La corriente con respecto a la temperatura de la unión fría 1 $\mu A/K$ e I_c = La corriente con respecto a la temperatura de la unión caliente; Por lo tanto el $V_{out} = 100 \text{ mV/}^\circ\text{C}$.

El circuito fue calibrado tomando como referencia (patrón) un termómetro digital de termocupla marca Fluke.

2.1.3. Medición de la humedad relativa.

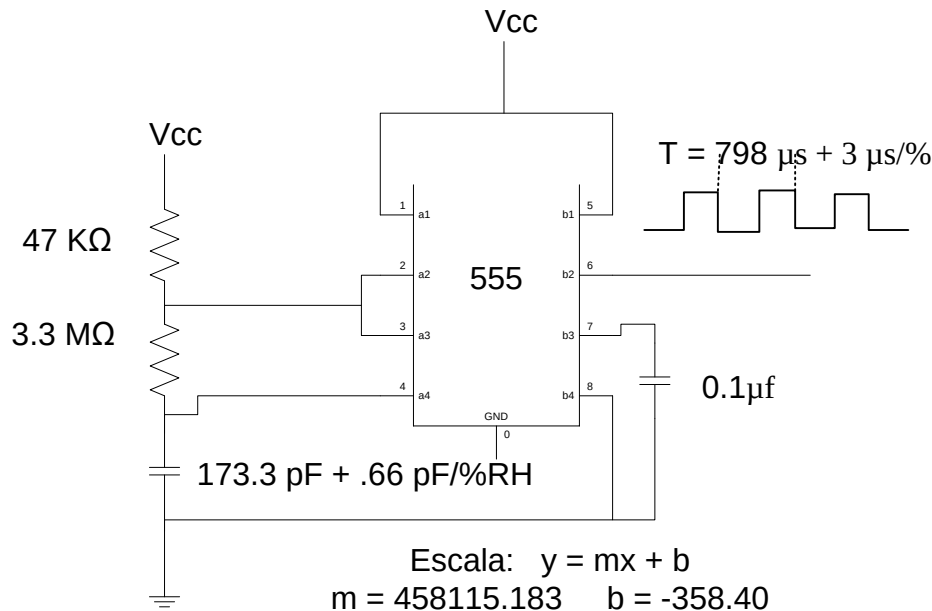


Figura 2.6

Circuito para la medición de % de humedad relativa.

Para la medición de la humedad relativa se requería un dispositivo capaz de medir la humedad relativa del ambiente en un rango de 0 a 100%, pequeño de fácil manejo e instalación y además con buena precisión.

El HS1101 de HUMIREL es un sensor de humedad relativa de salida tipo capacitivo cuyas dimensiones lo hacen fácilmente manejable. Este tipo de sensor detecta cambios en las propiedades dieléctricas de ciertos materiales inducidos por la presencia de humedad. Están formados por una película aislante con características higroscópicas (dieléctrico) recubierta de una capa metalizada sobre ambos lados. El vapor de agua es absorbido por la película la cual cambia su constante dieléctrica, produciendo un cambio en la capacitancia.

El HS1101 es un sensor de humedad relativa de salida tipo capacitivo que responde a la siguiente ecuación:

$$C_{HR} = 0.66 \frac{pf}{\%HR} + 173.3 pf$$

El circuito de acondicionamiento de señal (figura 2.6) es en si un multivibrador diseñado con el temporizador LM555, el cual genera una señal cuadrada de una frecuencia determinada por una red "RC" $\{f = 1.44/(R_a + 2R_b) * C\}$. El sensor de humedad forma parte de esta red, y los valores están calculados para que la frecuencia de la señal generada presente un periodo de $T = 798 \mu s + 3 \mu s/\%RH$. El circuito fue calibrado tomando como patrón un girómetro de bulbo húmedo y seco.

La señal de salida con una amplitud de 0 a 5 V (Dado que el circuito multivibrador esta alimentado por el voltaje de 5 V proporcionado por la tarjeta de adquisición de datos) es introducida a una de las entradas de función programable de la tarjeta, la cual es configurada para la medición del periodo de dicha señal. Esta magnitud es transformada en un porcentaje de humedad mediante una operación dentro del programa.

$$\%Hr = 458115.185 T - 358.4$$

2.1.4. Medición de Iluminancia

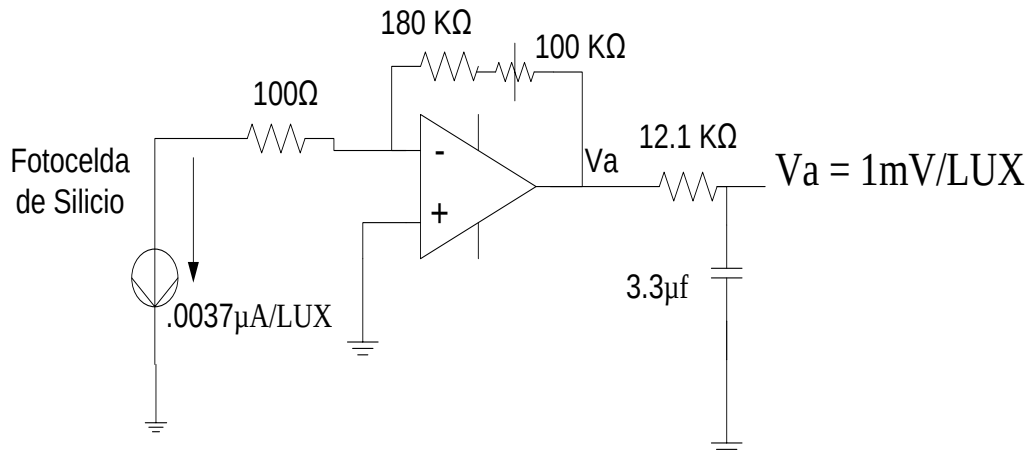


Figura 2.7

Circuito para la medición de iluminancia

Para la medición de iluminancia como se estaba diseñando para pruebas en espacio cerrado con luz artificial se requería una escala de 0 a 1000 Luxes.

Por esto se utilizó una fotocelda selenio. Las células fotoeléctricas del selenio convierten la energía de la luz que incide sobre ellas en energía eléctrica. La ventaja de las celdas fotovoltaicas de selenio sobre otras celdas es que su respuesta está muy cerca de la del ojo humano; esto las hace particularmente convenientes para el uso en instrumentos que miden iluminancia. Su eficacia como convertidores de la energía del espectro total no es tan alta como algunas otras fotoceldas así es que no se utilizan como celdas solares. Las celdas tienen un funcionamiento más lineal cuando la resistencia de la carga es baja (figura 2.7) por eso se recomienda una carga de 100Ω . [14]

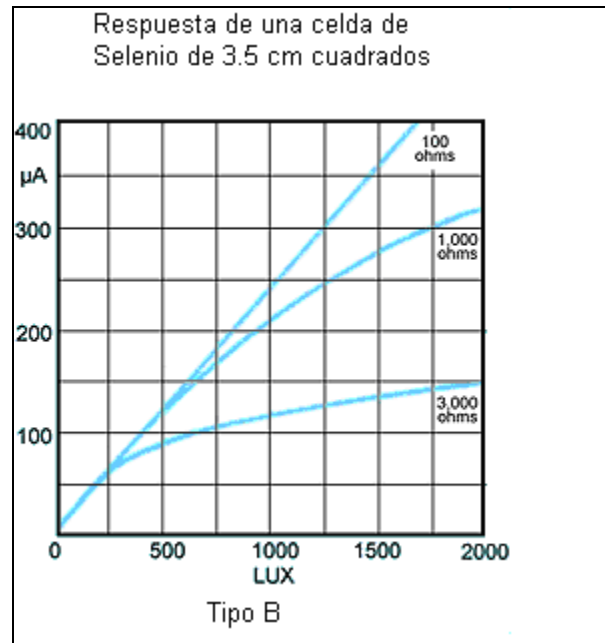


Figura 2.8
Respuesta de la fotocelda de selenio.

El circuito de acondicionamiento diseñado es un amplificador de corriente a voltaje (figura 2.7) utilizando para ello un amplificador de entrada JFET LF116 [10] para aprovechar su alta impedancia de entrada. Utilizando como carga para la fotocelda una resistencia de 100Ω para obtener su respuesta mas lineal. Este amplificador arroja como salida un voltaje de 1 mV/lux , y a la salida se coloco un filtro pasa bajas para anular las señales de ruido.

Para la calibración de este circuito se utilizo como patrón un luxometro de marca Omega.

2.1.5. Medición de Sonido.



Figura 2.9

Decibelímetro digital.

El medidor de nivel de sonido (Decibelímetro) Modelo HHSL1 de la marca OMEGA INSTRUMENT cuenta con una salida de voltaje de 10mV/dB.

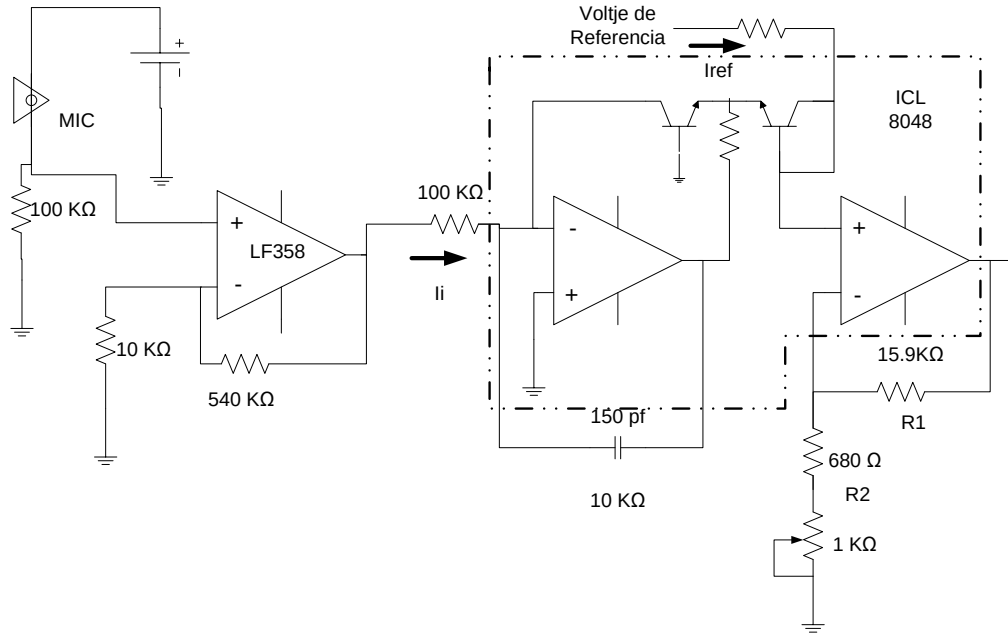


Figura 2.10

Circuito para la medición del sonido.

El nivel de sonido fue medido mediante un decibelímetro de marca OMEGA (adquirido anteriormente figura 2.9) que cuenta con una salida ya acondicionada de 10 mV por Decibel la cual fue conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

Un circuito de acondicionamiento propuesto en caso de no contar con el decibelímetro es el mostrado en la figura 2.10. El LF358 es un amplificador operacional con entrada tipo FET **[10]** lo que proporciona una muy alta impedancia de entrada hacia el micrófono de capacitor (Que tiene una respuesta omnidireccional) y que esta calculado para darle una ganancia tal que proporcione un voltaje de 100 mV/mPa .

El ICL8048 es un amplificador logarítmico donde su voltaje de salida responde a la ecuación:

$$V_{out} = K \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \log_{10} \left(\frac{I_{in}}{I_{ref}} \right) \quad \text{donde} \quad K = -2.303 \left(\frac{kT}{q} \right) = 59 \text{ mV a } 25^\circ \text{C}$$

$$X \text{ Bel} = \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad X \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{P_1^2}{P_2^2} \right) \quad X \text{ dB} = 20 \log \left(\frac{p_1}{p_2} \right)$$

2.1.6 Medición de la Velocidad del Aire.



Figura 2.11

Anemómetro modelo AM-4201 de la marca LUTRON.

La velocidad del aire fue medida mediante un anemómetro de marca LUTRON (adquirido anteriormente figura 2.11) que cuenta con una salida ya acondicionada de 10 mV por m/seg la cual fue conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

Un circuito para la medición de la velocidad del aire se propone para en caso de no contar con el anemómetro, utilizando para ello un convertidor de frecuencia a voltaje (figura 2.12) el cual utiliza el circuito integrado LM2907 [10] que se basa en una fuente de corriente constante y un circuito de carga “RC”, el cual provee un voltaje proporcional a la frecuencia de una señal de entrada.

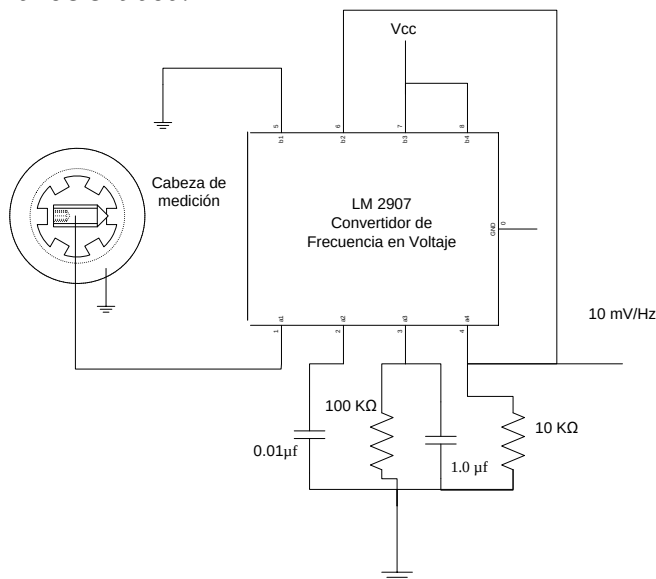


Figura 2.12

Circuito para la medición de la velocidad del aire.

2.2. Sistema de Adquisición de Datos



Figura 2.13

Tarjeta de adquisición de datos DAQ-6024.

Para el diseño del sistema de adquisición de datos se utilizó una tarjeta de adquisición de datos DAQ-6024E de National Instruments (figura 2.13) de la cual se da una descripción:

2.2.1. DAQ-6024

La DAQ-6024E consta de lo siguiente:

1. Un multiplexor analógico de 16 entradas para seleccionar los canales analógicos y el modo de funcionamiento de los canales de entrada
2. Un amplificador de instrumentación de ganancia programable (PGIA) detrás del multiplexor. El PGIA es el encargado de que al ADC le llegue el nivel de tensión adecuado, que corresponde a un margen dinámico de $[-5V, 5V]$.
3. A continuación, el convertidor A/D de 12 bits
4. Dos convertidores digital-analógico DAC1 y DAC2 para dos salidas analógicas independientes. La resolución de los DACs es de 12 bits.
5. Un puerto de 8 entradas/salidas digitales
6. Dos contadores

Un diagrama a bloques simplificado se presenta en la figura 2.14.

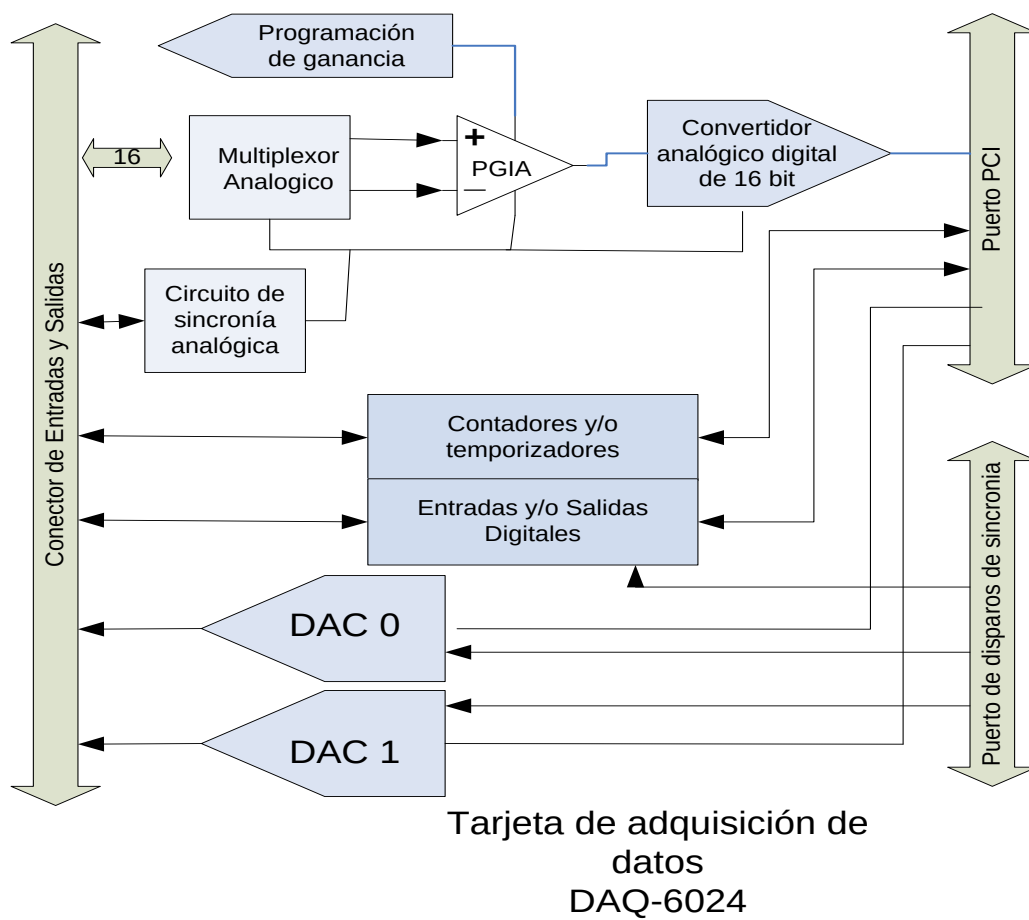


Figura 2.14

Diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición de datos .

2.2.2. Configuración del conector (Pin-out).

34	Canal analógico #8	Canal analógico #0	68
33	Canal analógico #1	Referencia analógica	67
32	Referencia analógica	Canal analógico #9	66
31	Canal analógico #10	Canal analógico #2	65
30	Canal analógico #3	Referencia analógica	64
29	Referencia analógica	Canal analógico #11	63
28	Canal analógico #4	Común analógico	62
27	Referencia analógica	Canal analógico #12	61
26	Canal analógico #13	Canal analógico #5	60
25	Canal analógico #6	Referencia analógica	59
24	Referencia analógica	Canal analógico #14	58
23	Canal analógico #15	Canal analógico #7	57
22	Salida analógica #0	Referencia analógica	56
21	Salida analógica #1	Referencia analógica de salida	55
20	Reservada	Referencia analógica de salida	54
19	Entrada/Salida digital 4	Referencia digital	53
18	Referencia digital	Entrada/Salida digital 0	52
17	Entrada/Salida digital 1	Entrada/Salida digital 5	51
16	Entrada/Salida digital 6	Referencia digital	50
15	Referencia digital	Entrada/Salida digital 2	49
14	+5Volts	Entrada/Salida digital 7	48
13	Referencia digital	Entrada/Salida digital 3	47
12	Referencia digital	Reloi de barrido	46
11	Entrada de función programable 0	Habilitador externo	45
10	Entrada de función programable 1	Referencia digital	44
9	Referencia digital	Entrada de función programable 2	43
8	+5Volts	Entrada de función programable 3	42
7	Referencia digital	Entrada de función programable 4	41
6	Entrada de función programable 5	Salida de pulso programable 1	40
5	Entrada de función programable 6	Referencia digital	39
4	Referencia digital	Entrada de función programable 7	38
3	Entrada de función programable 9	Entrada de función programable 8	37
2	Salida de pulso programable 0	Referencia digital	36
1	Salida de frecuencia	Referencia digital	35

Figura 2.15

Configuración de conexiones de la tarjeta DAQ-6024E [17].

2.2.3. Entradas Analógicas.

La tarjeta DAQ-6024E consta de 16 líneas o terminales de entrada analógicas, las cuales se pueden configurar para la adquisición de señales de manera diferencial (DIFF) lo que permite trabajar con 8 canales o de manera unipolar que proporciona la posibilidad de contar con 16 canales analógicos de trabajo. (La configuración de terminales se puede observar en la figura 2.15).

Dentro del modo unipolar podemos elegir dos tipos de conexión dependiendo si queremos una medición con referencia a la tierra de la computadora y si nuestras señales son aterrizadas (con referencia a tierra física) o flotadas (con referencia diferente a tierra física).

Todas las opciones estas descritas en la figura 2.16 en donde se hace hincapié en el caso de tener una señal aterrizada a tierra física no es recomendable conectarla de manera aterrizada a la tierra de la computadora por que corremos el riesgo de crear un lazo de tierra , lo que podría dañar el sistema.

Configuración de Entrada	Tipo de fuente de señal	
	Señal flotada	Señal aterrizada
	Ejemplos: • Termocuplas no aterrizadas • Señales acondicionadas aisladas • Dispositivos de baterías	Ejemplo: • Instrumentos conectados al voltaje de línea aterrizados
Diferencial (DIFF)		
Unipolar Aterrizado (RSE)		
Unipolar Flotado (NRSE)		

Figura 2.16

Tipos de conexión de señales a las entradas analógicas de la tarjeta de datos.

Un Amplificador de Instrumentación de Ganancia Programable (PGIA) sigue a estas 16 líneas de entrada, de tal forma que cada canal programa al único PGIA con la ganancia adecuada. Como se muestra en la tabla 2.1 el Amplificador de Instrumentación de Ganancia Programable se programa con una ganancia de 0.5, 1.0, 10.0 o 100.0 de tal forma que a la entrada del ADC interno siempre tengamos un margen de [- 5V, 5V].

Ganancia	Rango de entrada	Resolución
0.5	-10 V a +10 V	4.88 mV
1.0	-5 V a 5 V	2.44mV
10.0	-500 mV a +500 mV	244.14 μ V
100.0	-50 mV a +50 mV	24.41 μ V

Tabla 2.1

La resolución esta calculada considerando que el convertidor analógico digital es de 12 bits de entrada.

2.2.4. Salidas Analógicas.

También la DAQ-6024E puede generar señales de salida. De hecho, consta de dos líneas de salida analógicas como se muestra en la figura 2.17, dos canales: DAC0OUT y DAC1OUT con dos convertidores DAC donde las señales obtenidas tienen su propia referencia.

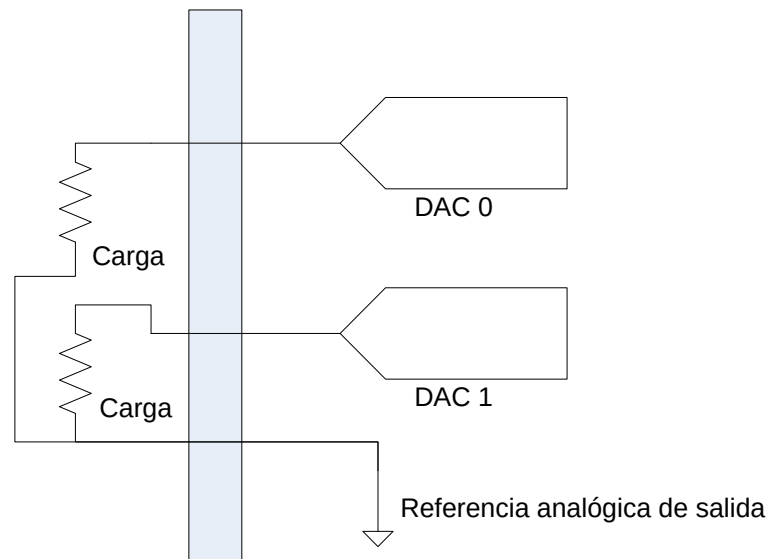


Figura 2.17

Conexión de salidas analógicas.

Estos convertidores interpretan las entradas en complemento a dos. El nivel de los canales de salida es $[-10V, 10V]$. El valor que va sacando se irá actualizando, bien por software, bien por hardware. Si se actualiza por hardware, se hace según el ritmo marcado por la tasa de actualización (*update rate*). Para la generación de una secuencia de datos, la tarjeta usa tres señales. La señal WFTRIG inicia la generación de una onda de la DAQ. La señal UPDATE actualiza las salidas de la DAQ. Si no se toma la señal UPDATE como una entrada, el contador UI genera internamente los pulsos de UPDATE a partir del reloj UISOURCE (hasta 20 MHz si es una señal externa). Si no se tiene reloj externo UISOURCE, el propio contador UI genera internamente una señal UISOURCE. Los pulsos de UPDATE deben estar lo suficientemente espaciados para que los nuevos datos se puedan escribirse en sus registros.

2.2.5. Contadores

La DAQ-6024E tiene dos contadores exactamente iguales (C0 y C1). Hay tres señales que controlan a cada contador. La GPCTR0_GATE habilita/deshabilita el contador 0. La GPCTR0_SOURCE es la entrada o reloj del contador 0. El registro del contador se va incrementando a cada flanco activo de la señal GPCTR0_SOURCE. Cuando el registro del contador alcanza un cierto valor programado (TC-conteo programado) la señal de salida GPCTR0_OUT tiene dos opciones configurables (mostrado en la figura 2.18):

1. Cambia de estado (Toggle Output on TC)
2. Crea un pulso (Pulse on TC) de período un ciclo de la GPCTR0_SOURCE

En función de que la señal de GATE esté configurada para enmascarar la señal de reloj CLK por flanco (subida/bajada) o por nivel (alto/bajo), tenemos estos cuatro modos de operación.

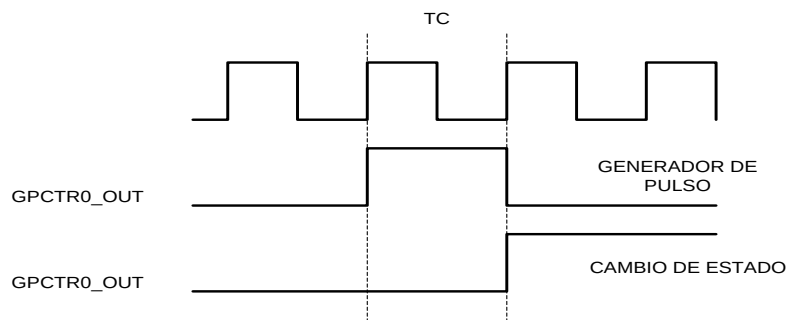


Figura 2.18

Funcionamiento de los contadores.

Otra señal, que controla el sentido ascendente o descendente del contador, es la señal digital de entrada GPCTR0_UP_DOWN, que entra por la terminal DIO6. Este control puede realizarse también por software, en ese caso se deja libre la terminal DIO6. Análogamente, el DIO7 controla al contador 1.

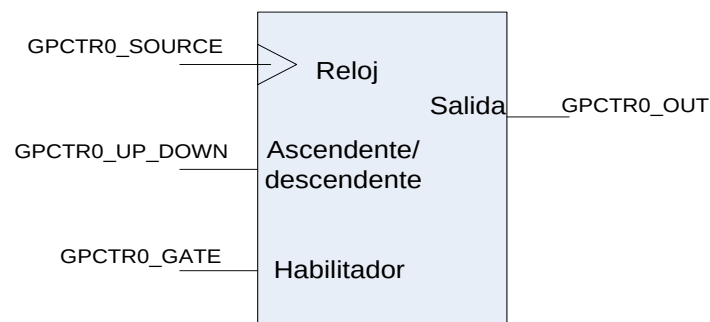


Figura 2.19

Diagrama simbólico del contador.

2.2.6. Puerto digital (entradas y/o salidas discretas).

La tarjeta DAQ6024E tiene 8 terminales para entradas o salidas digitales DIO0-DIO7 (figura 2.20). Cada uno de estos ocho puertos se puede programar individualmente. Como entradas, el DIO6 y el DIO7 controlan el control ascendente y descendente (up/down) de los contadores 0 y 1 respectivamente.

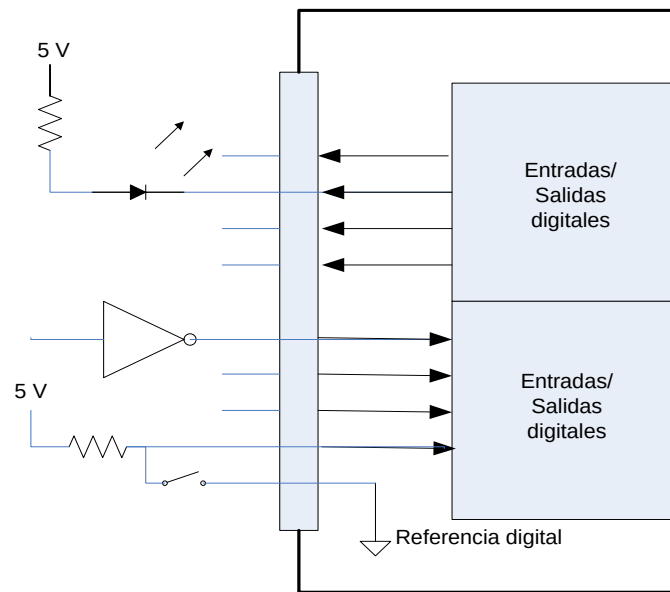


Figura 2.20

Tipo de conexión para el puerto digital.

2.2.7. Entradas de función programable (PFI).

La tarjeta DAQ6024E tiene 10 terminales PFI. Estas PFI's, como entradas, pueden programarse para entrar señales como TRIG1, TRIG2, STARTSCAN, CONVERT, AIGATE, SISOURCE, UPDATE, WFTRIG, UISOURCE, GPCTR0_SOURCE, GPCTR0_GATE, GPCTR1_SOURCE o GPCTR1_GATE. En cambio como salida, cada terminal PFI sólo puede sacar una señal específica: PFI9/GPCTR0_GATE, PFI8/GPCTR0_SOURCE, PFI15/UPDATE. La terminal PFI9 sólo puede sacar como salida la señal del contador 0 GPCTR0_GATE y así sucesivamente. El resto se pueden ver en el pin-out de la tarjeta.

2.2.8. Salida de señal de frecuencia programada (FREQ OUT signal)

El generador de frecuencia interno de la tarjeta saca el reloj por esta terminal. [16],[17].

2.3 Salidas Discretas y Actuadores

2.3.1 Optoaisladores.

Para poder manipular las variables físicas en el prototipo se utilizaron una serie de actuadores, cada uno de ellos fue controlado por medio de una salida digital.

Cada una de estas salidas fueron optoaisladas, con el propósito de proteger a la tarjeta de adquisición de datos de cualquier posible accidente de campo. Para ello se utilizaron optoaisladores (figura 2.21) de salida tipo transistor 4N35.

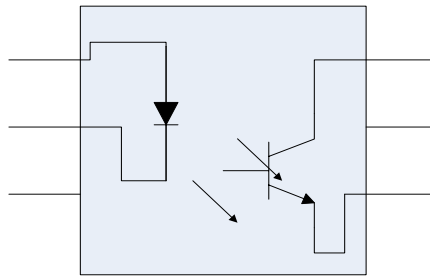


Figura 2.21
Optoaislador

2.3.2 Relevadores de Estado Sólido.

Los relevadores de estado sólido (figura 2.22) son circuitos electrónicos híbridos que semejan el funcionamiento de los relevadores electromagnéticos pero con las ventajas de los dispositivos semiconductores. El motivo de utilizarlos en este caso fue precisamente una de ellas, su corriente de control es muy pequeña.

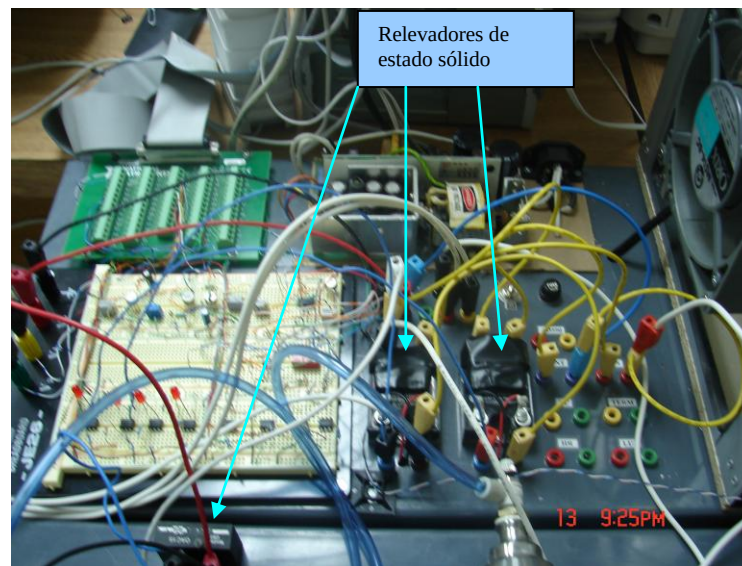


Figura 2.22
Relevadores de estado sólido.

2.3.3 Actuadores.

Los elementos actuadores que se utilizaron y se muestran en la figura 2.23a y 2.23b fueron:

- a) Una resistencia térmica (120 Vac) para introducir calor y elevar la temperatura
- b) Un ventilador (120Vac), para reducir la temperatura y humedad relativa.
- c) Un compresor en conjunto con un humidificador o nebulizador (120Vac), para elevar la humedad relativa.

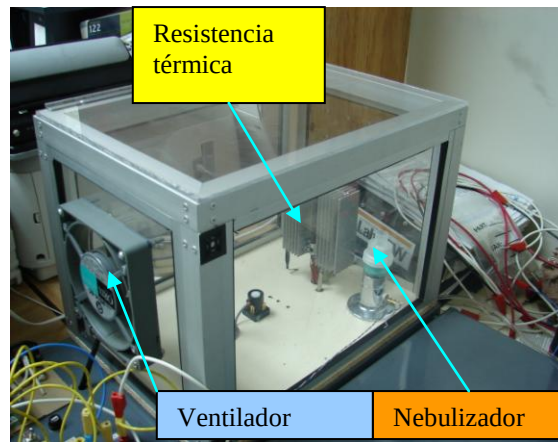


Figura 2.23a
Actuadores.

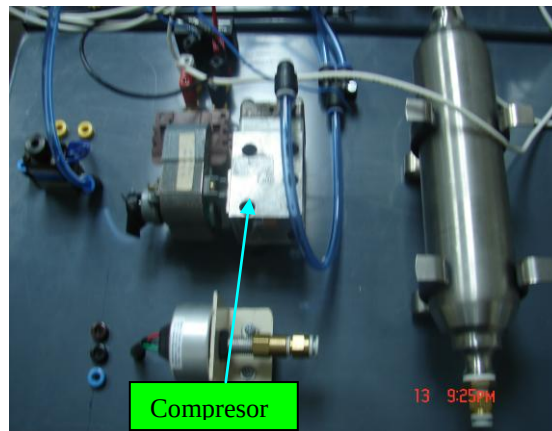


Figura 2.23b
Actuadores.

El diagrama de bloques de la figura 2.24 muestra un panorama general de la conexión de los elementos del hardware del prototipo del proyecto.

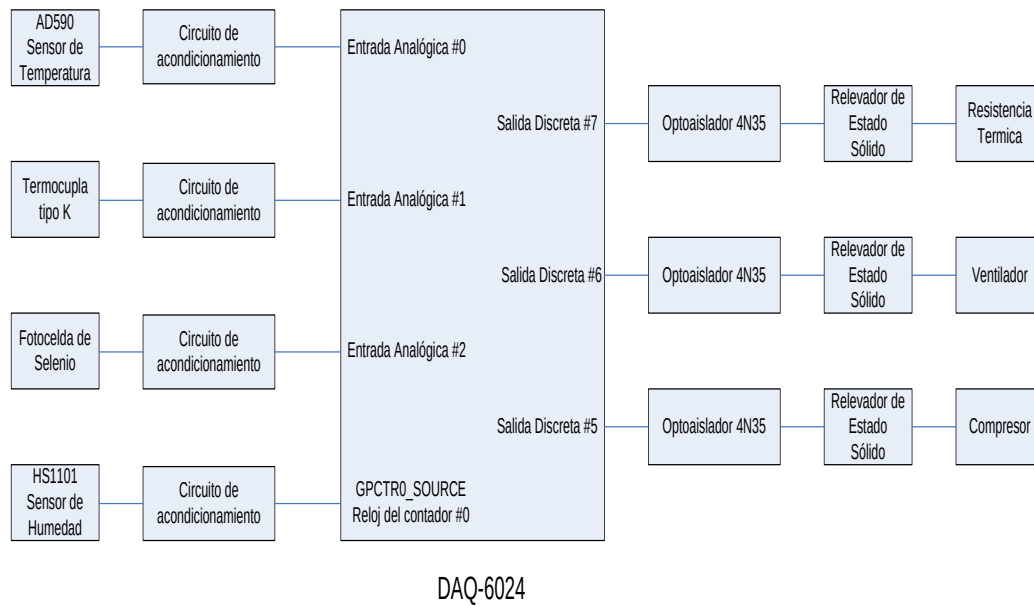


Figura 2.24

Diagrama de bloques del prototipo.

CAPITULO 3

El software del proyecto

3.1. El programa

3.1.1 Programación modular.

Un programa en LabVIEW se compone de dos ventanas principales como se muestran en las figuras 3.1 y 3.2. El diagrama de bloques, que es en si el editor de programación y el panel frontal que se convierte en la interfase con el usuario. Cada elemento dentro del panel frontal esta ligado con su representación funcional dentro del diagrama de bloques.

El funcionamiento del programa se da precisamente mediante operaciones que relacionan a estos bloques funcionales.

El programa diseñado se realizo utilizando las llamadas funcione “Express” ya que la velocidad de las variables a medir no es critica. A continuación una breve explicación de las instrucciones utilizadas.

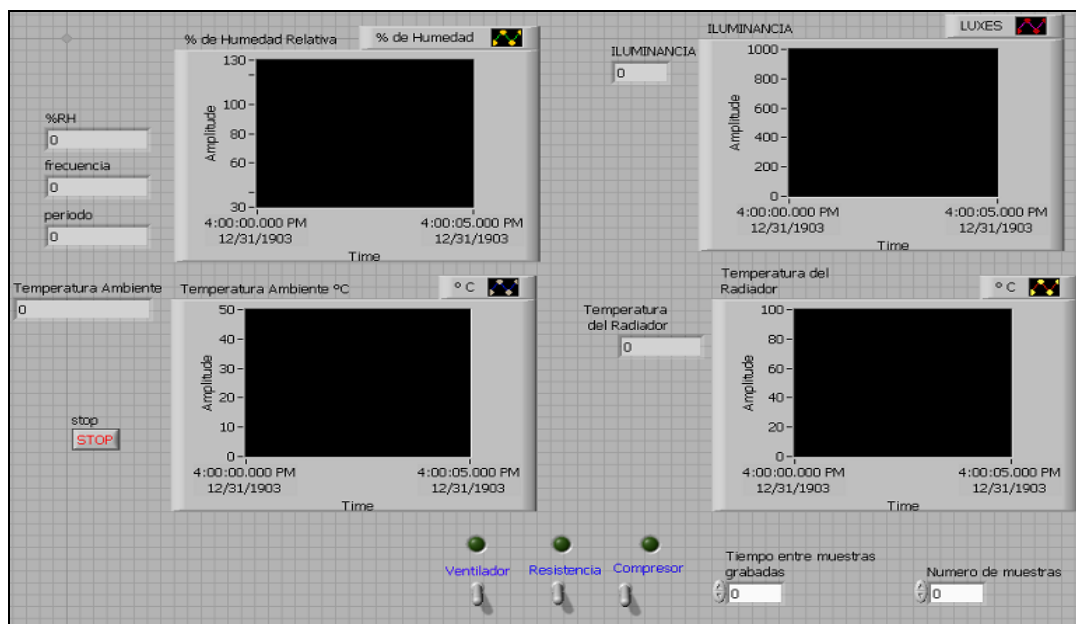


Figura 3.1

Panel frontal del programa del prototipo.

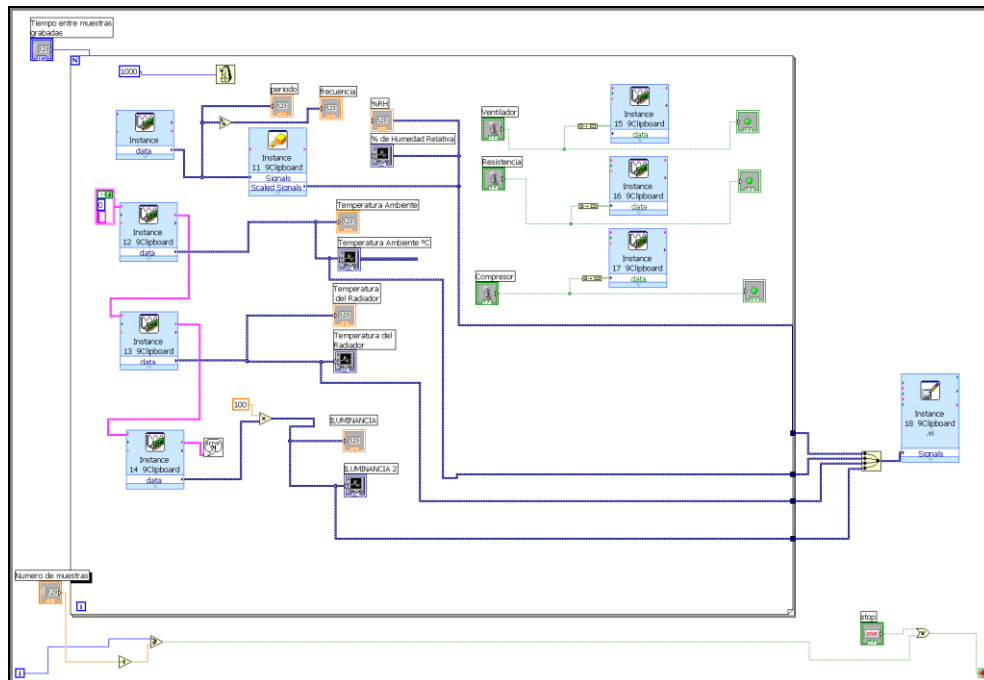


Figura 3.2

El diagrama de bloques o editor del programa.

3.2 Estructura y funcionamiento del programa.

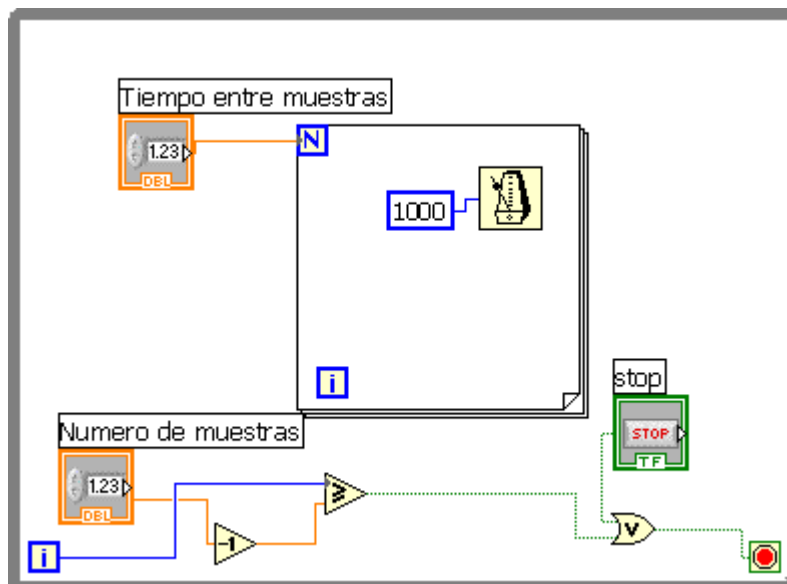


Figura 3.3

Estructura del programa.

La estructura del programa se muestra en la figura 3.3, se basa en un ciclo “FOR” anidado dentro de un ciclo “WHILE”. La lógica del programa es muy sencilla, en el ciclo FOR se hacen las adquisiciones y muestras en el panel frontal cada segundo, esto es por la constante de 1000 ms que tiene programada la instrucción de retardo de tiempo. Para que se haga una iteración del ciclo WHILE se tienen que hacer las “N” iteraciones que el ciclo FOR tenga programadas. Como la instrucción de escribir en archivo se ejecuta una vez por cada ciclo WHILE el tiempo entre cada muestra grabada en archivo esta determinada por la “N” programada para el ciclo FOR por los 1000 ms de ejecución de cada ciclo FOR, entonces, el muestreo en pantalla es cada segundo pero el muestreo registrado en archivo es cada “N” segundos.

El número de muestras registradas es controlado comparando el numero de iteraciones del ciclo WHILE con el numero deseado controlado desde el panel frontal.

El control de los elementos actuadores también se hace en pantalla mediante controles boléanos.

3.3 Instrucciones

3.3.1. Asistente de Adquisición.



DAQ ASSISTANT

Figura 3.4

Asistente de adquisición.

El asistente de adquisición (figura 3.4) sirve para tener comunicación con el exterior (Hardware) ya sea de entrada y/o salida para los canales analógicos, canales digitales y contadores.

Para la medición de temperatura ambiente, temperatura radiante e Iluminancia se usaron canales analógicos de voltaje.

Para la medición de Humedad Relativa se uso un contador para la medición del periodo de la señal de entrada generada por el acondicionador externo.

Y para el control de los elementos finales de control (Ventilador, Resistencia Térmica y Humidificador) se usaron canales discretos (digitales) de salida.

Para cada entrada hay que configurar:

- La dirección del dispositivo de hardware (La tarjeta de adquisición de datos).
- El tipo de canal (Discreto, Analógico, Contador).
- Parámetro a medir (Si es analógico puede ser voltaje, corriente, resistencia, en algunas tarjetas, y si es contador puede ser para medición de frecuencia, periodo o para usarlo como temporizador).
- Tipo de adquisición (Continua, cierto numero de muestras o una muestra por iteración).
- Tipo de conexión diferencial o unipolar (Si es unipolar puede ser señal flotada o aterrizado).

En el proyecto se utilizo conexión unipolar flotada para todos los canales analógicos.

3.3.2. Carta de forma de onda.



Figura 3.5
Carta de forma de onda.

Esta instrucción (figura 3.5) sirve para mostrar en el panel frontal los datos adquiridos, graficados con respecto al tiempo. Los datos se actualizan en pantalla cada que llega uno nuevo, esto nos da una impresión de tener una visión de tiempo real de las variables a medir.

3.3.3. Escribir datos en un archivo.

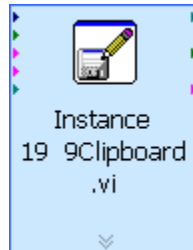


Figura 3.6

Escribir datos en un archivo.

Esta instrucción escribe los datos adquiridos en un archivo (figura 3.6), hay que configurar el nombre y el lugar donde se encuentra el archivo sobre el cual va a escribir o en su caso que cree uno nuevo.

3.3.4. Ciclo “FOR”.

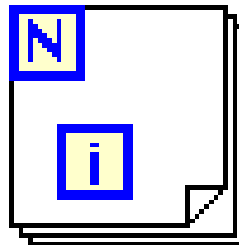


Figura 3.7

Ciclo “FOR”.

Un ciclo “FOR” es una estructura de control que provoca que el programa repita lo que esta dentro del ciclo un cierto numero de veces especificado (N). Su bloque se muestra en la figura 3.7

3.3.5. Ciclo “WHILE”.

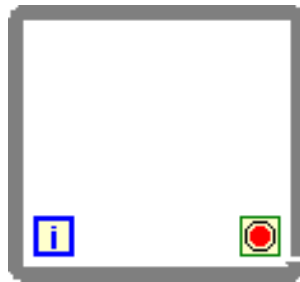


Figura 3.8
Ciclo “WHILE”.

Un ciclo “WHILE” (figura 3.8) es una estructura de control que provoca que el programa repita lo que esta dentro de el hasta que una condición se cumpla o se deje de cumplir.

En este caso hasta que se de la señal de paro en el panel frontal o hasta que se cumpla un cierto numero de iteraciones determinado por el numero de muestras que se pretendan grabar en el archivo de datos.

3.3.6. Tiempo de Retardo o Espera.

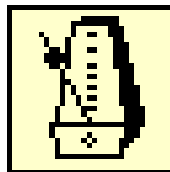


Figura 3.9
Tiempo de retardo o espera.

Esta instrucción genera un retardo en la ejecución del programa. Lo hace con una base de tiempo de 1 ms, por lo que el retardo se puede programar mediante una constante o por un control numérico.

3.3.7. Controles e indicadores boléanos.



Figura 3.10

Controles e indicadores boléanos.

Este tipo de instrucciones sirven para manipular u observar el estado de variables boléanas o sea ceros y unos.

3.3.8. Controles e indicadores numéricos.

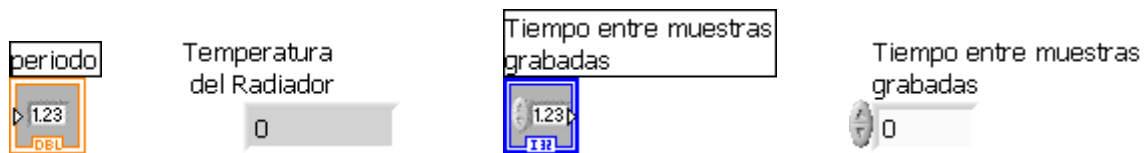


Figura 3.11

Controles e indicadores numéricos.

Este tipo de instrucciones sirven para observar o manipular variables numéricas.

CAPITULO 4

Resultados

4.1 Archivo de datos.

En la tabla 4.1 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos en una “corrida” del programa con diez segundos entre muestras y diez muestras por variable, este archivo de datos puede ser trasladado a diferentes formatos, en este caso se abrió en EXCEL. Una vez teniendo la base de datos, estos se pueden manipular (Graficar, procesar, etc.) según los propósitos del usuario.

Cabe hacer notar que para esta corrida los parámetros (Humedad, Temperatura ambiente, temperatura radiante e iluminancia se hicieron variar drásticamente para que las graficas mostraran un mejor efecto visual.

Los datos mostrados por el sistema (prototipo) fueron cotejados tanto por la medición de señales en los circuitos de acondicionamiento, como verificados con instrumentos patrones ya mencionados en el capítulo 2.

Date	12/26/2006		12/26/2006		12/26/2006		12/26/2006
Time	25:38.5		25:38.5		25:38.5		25:38.5
X_Dimension	Time		Time		Time		Time
X0	0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00		0.00E+00
Delta_X	1		1		1		1
End_of Header							
Tiempo	% de Humedad	Tiempo	Temperatura Ambiente °C	Tiempo	Temperatura Radiante °C	Tiempo	Iluminancia Luxes
0.00	80.98	0.00	23.95	0.00	69.34	0.00	295.41
10.00	65.15	10.00	24.80	10.00	71.48	10.00	439.45
20.00	57.25	20.00	26.03	20.00	70.41	20.00	288.09
30.00	54.36	30.00	26.90	30.00	69.43	30.00	256.35
40.00	53.61	40.00	27.59	40.00	68.95	40.00	273.44
50.00	46.83	50.00	28.15	50.00	69.43	50.00	300.29
60.00	46.30	60.00	28.83	60.00	68.70	60.00	332.03
70.00	47.88	70.00	29.27	70.00	69.24	70.00	288.09
80.00	47.67	80.00	29.71	80.00	68.70	80.00	368.65
90.00	47.08	90.00	30.03	90.00	68.95	90.00	278.32

Tabla 4.1
Datos obtenidos en una corrida de prueba.

4.2. Medición de Humedad Relativa.

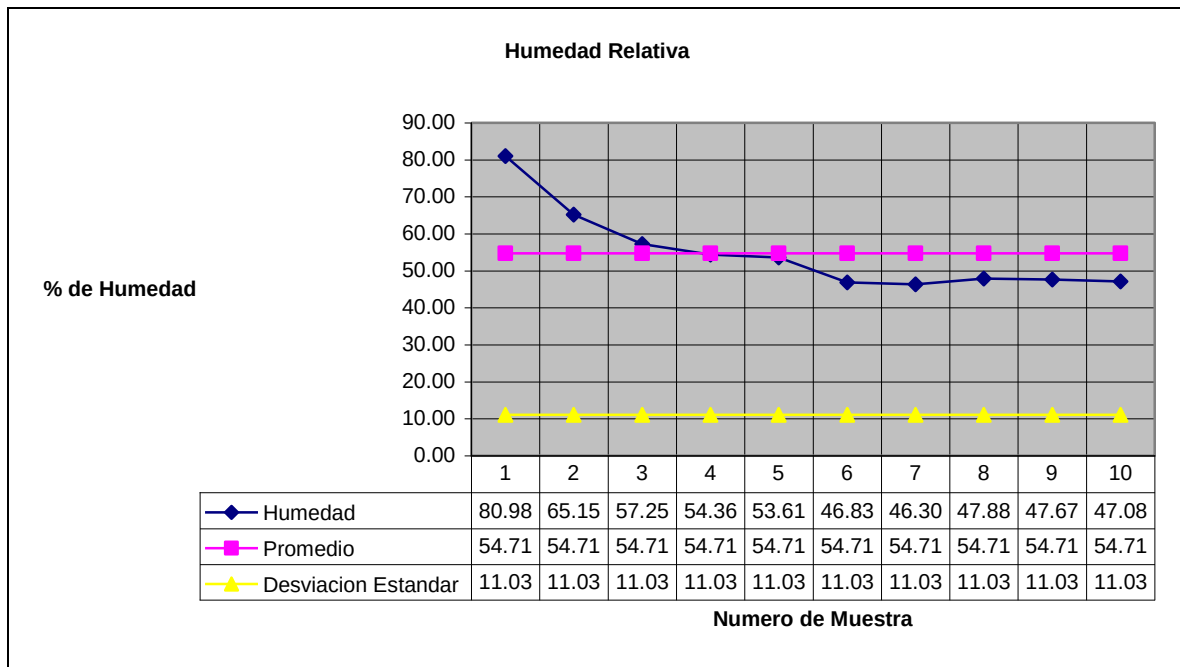


Figura 4.1
Humedad relativa.

La humedad se hizo aumentar por medio del humidificador antes de empezar la corrida y luego se encendió el ventilador, que en realidad trabaja como un extractor. Es por eso que la grafica de la figura 4.1 empieza con una humedad bastante alta 81% y sufre una caída drástica, hasta alcanzar la humedad del ambiente exterior de aproximadamente el 40%.

En este caso se obtuvo la humedad promedio y la desviación estándar de la serie de datos para ejemplificar una de las muchas opciones de análisis y manipulación de información que proporciona el sistema.

4.3. Medición de Temperatura Ambiente.

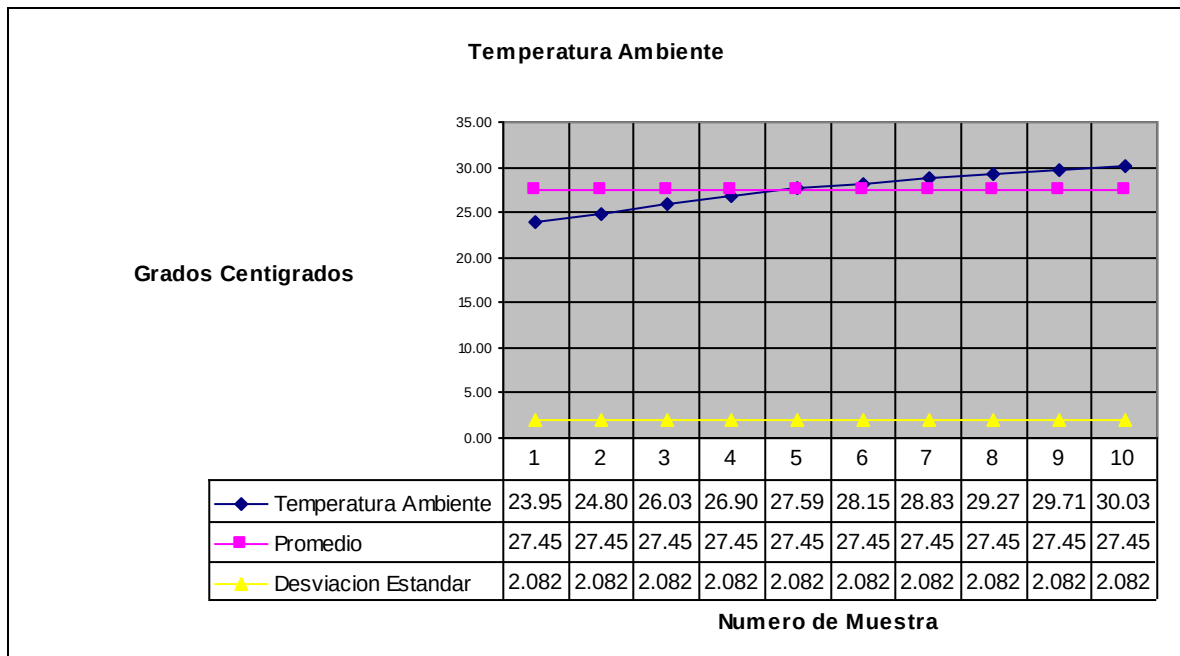


Figura 4.2
Temperatura ambiente.

En la figura 4.2 se muestra una grafica de los valores obtenidos por el sistema para la temperatura ambiente, como podemos observar esta es una variable relativamente lenta, se empezó con una temperatura de alrededor de 24 °C como el radiador de calor estaba prendido unos instantes antes de iniciar la corrida, al encender el ventilador (el sentido del flujo del aire va del radiador hacia el sensor de temperatura ambiente) el sensor empezó a registrar una alza progresiva de temperatura.

4.4. Medición de Temperatura Radiante.

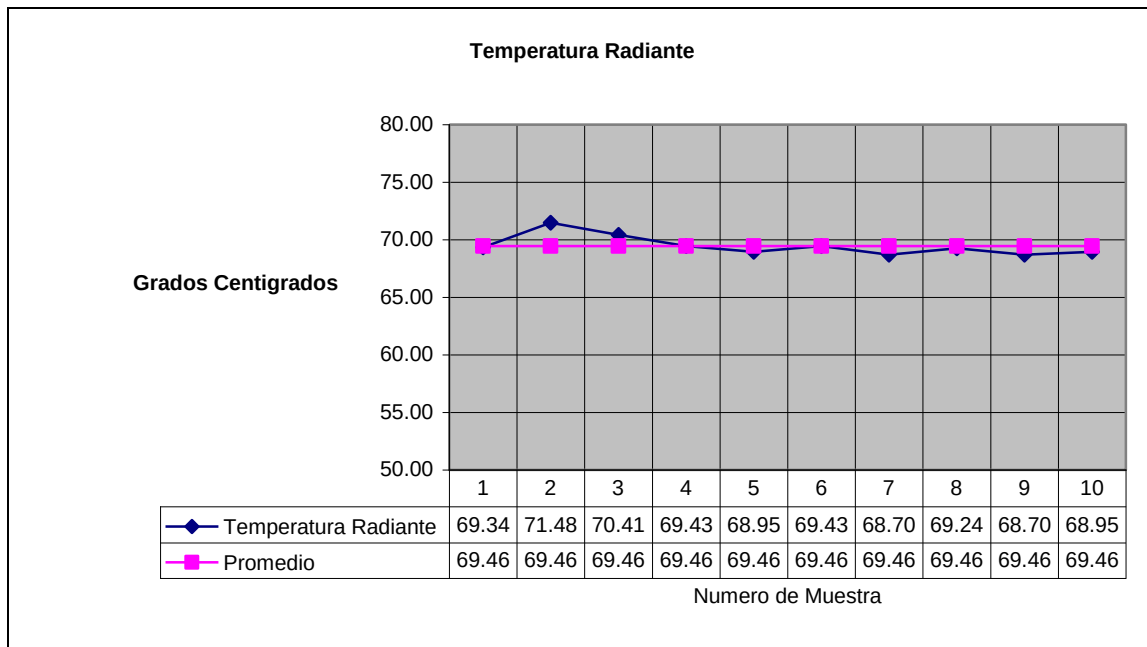


Figura 4.3
Temperatura radiante.

En la figura 4.3 se muestra una grafica de los valores obtenidos por el sistema para la temperatura radiante, se empezó con una temperatura de alrededor de 70 °C como el radiador de calor estaba prendido unos instantes antes de iniciar la corrida, el valor de temperatura iba en ascenso, al encender el ventilador la temperatura empieza a descender paulatinamente.

4.5. Medición de Iluminancia.

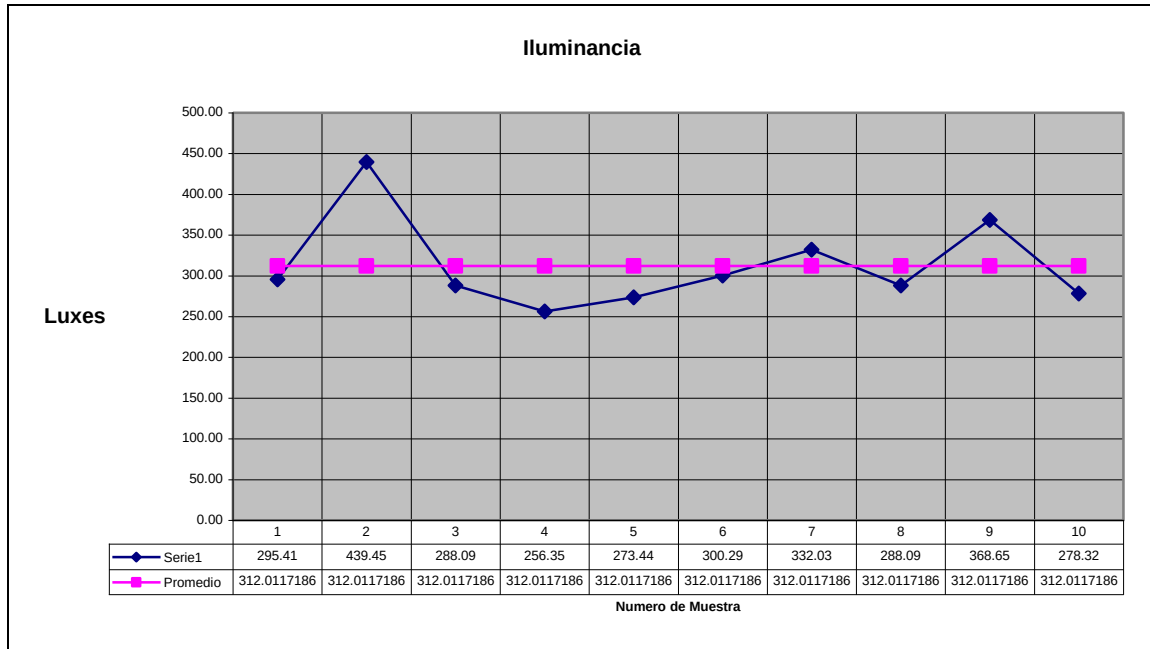


Figura 4.4
Iluminancia.

Durante la corrida de prueba, cuyos valores son mostrados por la grafica de la figura 4.4 se utilizo una lámpara de mano para generar variaciones en la iluminancia del medio, es por ello que vemos en la grafica como los valores suben y bajan desde un mínimo de 256 luxes hasta un máximo de 439 luxes.

CONCLUSIONES

El objetivo inicial de este proyecto fue el diseño, construcción, y puesta en marcha de un sistema de adquisición de datos para ser utilizado en El Laboratorio de Diseño Ambiental de la Facultad de Arquitectura de la U. A. B. C. campus Mexicali, para responder a una necesidad real. En donde gran parte de los elementos a trabajar ya estaban dados.

Pero hay que hacer hincapié que este tipo de sistemas “SCADA” son aplicables a diferentes ámbitos, sobretodo, a los procesos industriales.

Con el crecimiento de la industria en nuestro estado, este se ha convertido en uno de los más dinámicos y competitivos del país. La incorporación de maquinaria de alta tecnología y una creciente integración con sistemas y procesos automatizados, abren un campo radicalmente nuevo y promisorio para la ingeniería. Así es que cuando se habla de La Manufactura Integrada por Computadora (CIM) se contempla conceptos avanzados que abarcan tecnologías modernas de manufactura, así como otros conceptos de manufactura como Justo a tiempo, calidad total, teoría de restricciones, etc. Lo realmente importante no es dar una definición al concepto, sino entender que se trata de una forma de trabajo en la cual todas las partes que intervienen para el desarrollo de un producto están enfocadas a lograr la meta de una organización.

Es por eso que creo, que el desarrollo de prototipos didácticos como este influye de manera importante en el desarrollo de nuestras actividades docentes, y de vinculación con el sector productivo. Otro punto importante a mencionar que la capacidad de este tipo de sistemas, en este proyecto esta utilizada en una mínima parte, debido a los requerimientos iniciales del cliente.

Los resultados obtenidos los considero satisfactorios, ya que además de solucionar el problema planteado, se obtuvieron conocimientos y experiencias aplicables en el desarrollo de la actividad docente que desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Ollero B. A.,1992 “Control por Computadora” , Ed. Alfaomega.
- [2]. Mánuel L. A.,2001, LabVIEW 6i, Ed. Paraninfo.
- [3]. John Webb,2001, *Industrial Control Electronics*, Ed. Wiley and sons.
- [4]. Pallas Areny R.,2002, *Sensores y acondicionadores de señal*, Ed. Marcombo.
- [5]. Peter Hauptmann,1999, *Sensor: principles and applications*, Ed. Prentice Hall.
- [6]. Norman A. Anderson,2001, *Instrumentation for process measurement and control*, Ed. Foxboro.
- [7]. Antonio Creuss,2000, *Instrumentación Industrial*, Ed. Marcombo.
- [8]. Douglas M. Coisdine,1998, *Manual de instrumentación aplicada*, Ed. Mc. Graw Hill.
- [9]. OMEGA Co. 1991, “ Temperatura Measurement Handbook”.
- [10]. www.national.com (Junio/2006).
- [11]. www.ni.com (Junio/2006).
- [12]. www.analog.com (Junio/2006).
- [13]. www.phys.unsu.edu.au (Junio/2006).
- [14]. <http://www.megatron.co.uk/> (Junio/2006).
- [15]. <http://cipres.cec.uchile.cl/~jlorca/> (Junio/2006).
- [16]. Measurements Manual of LabVIEW 2003, Ed. National Instruments.
- [17]. User Manual DAQ 6024E 2003, Ed. National Instruments.

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Página
1.1	La Computadora como elemento de medición y control	4
1.2	La pantalla de la computadora como panel frontal de un instrumento de medición	7
1.3	Plantillas de trabajo para la programación en LabVIEW®	8
1.4	Escalas de medición de temperatura	13
1.5	Influencia de la fuente en la forma del haz de luz	17
1.6	Diferente flujo luminoso correspondiente a diferente potencia consumida	18
1.7	Diferencia entre flujo e intensidad luminosa	19
1.8	Intensidad luminosa	20
1.9	Concepto de iluminancia	20
1.10	Ley Inversa de los Cuadrados	21
1.11	Ley del Coseno	21
1.12	Concepto de Luminancia	22
1.13	Solo una fracción de potencia se convierte en luz visible	23
1.14	Mapa del Sonido	28
2.1	Prototipo (Hardware).	30
2.2	Sensores utilizados en el prototipo.	31
2.3	Circuitos de acondicionamiento	32
2.4	Circuito para medición de temperatura ambiente	33
2.5	Circuito para medición de temperatura radiante.	35
2.6	Circuito para la medición de % de humedad relativa.	37
2.7	Circuito para la medición de iluminancia	39
2.8	Respuesta de la fotocelda de selenio.	40
2.9	Decibelímetro digital.	41
2.10	Circuito para la medición del sonido	42
2.11	Anemómetro modelo AM-4201 de la marca LUTRON	43
2.12	Circuito para la medición de la velocidad del aire.	43
2.13	Tarjeta de adquisición de datos DAQ-6024.	44
2.14	Diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición de datos	45

No.	Descripción	Página
2.15	Configuración de conexiones de la tarjeta DAQ-6024E	
2.16	Tipos de conexión de señales a las entradas analógicas de la tarjeta de datos	
2.17	Conexión de salidas analógicas	
2.18	Funcionamiento de los contadores.	
2.19	Diagrama simbólico del contador.	
2.20	Tipo de conexión para el puerto digital.	
2.21	Optoaislador	
2.22	Relevadores de estado sólido.	
2.23a	Actuadores	
2.23b	Actuadores	
3.1	Panel frontal del programa del prototipo.	56
3.2	El diagrama de bloques o editor del programa.	57
3.3	Estructura del programa.	57
3.4	Asistente de adquisición.	58
3.5	Carta de forma de onda.	59
3.6	Escribir datos en un archivo.	60
3.7	Ciclo “FOR”.	60
3.8	Ciclo “WHILE”.	61
3.9	Tiempo de retardo o espera.	61
3.10	Controles e indicadores boléanos.	62
3.11	Controles e indicadores numéricos.	62
4.1	Humedad relativa.	64
4.2	Temperatura ambiente.	65
4.3	Temperatura radiante.	66
4.4	Iluminancia.	67

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Página
1.1	Equivalencias entre escalas de temperatura.	14
1.2	Transductores de temperatura.	15
1.3	Unidades de medición de flujo luminoso.	19
1.4	Unidades de Iluminancia.	20
1.5	Equivalencia de unidades de Iluminancia.	21
1.6	Unidades de medida del Rendimiento luminoso.	23
1.7	Parámetros Mínimos Marcados por La Norma Oficial Mexicana Respecto a Iluminación.	25
2.1	La resolución de los convertidores analógico–digital (considerando que el convertidor analógico digital es de 12 bits de entrada).	49
4.1	Datos obtenidos en una corrida de prueba.	63