

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**ADQUISICIÓN DE DATOS DEL COMPRESOR
DE BAJA PRESIÓN DE LABORATORIO
DE TERMOFLUIDOS MEDIANTE LABVIEW**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
AREA: ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
P R E S E N T A N :**

**JAVIER JUÁREZ MÁRQUEZ
NOÉ ALFREDO MARTÍNEZ SÁNCHEZ**

**ASESOR:
ING. ARTURO OCAMPO ALVAREZ**

**REVISOR:
ING. JOSÉ MANUEL RAMÍREZ MORA**

MÉXICO

MMVIII





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A mis padres Andrea y Julio
con amor y cariño.*

=NO DESISTAS=

Cuando vayan mal las cosas como a veces suelen ir,

Cuando ofrezca tu camino sólo cuestas que subir

y precisas sonreír aun teniendo que llorar,

cuando ya el dolor te agobie y no puedas ya sufrir;

descansa acaso debes: pero ! nunca desistir ;

-Rudyard Kipling-

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme salud para seguir en este camino y cumplir mis sueños.

Andrea Márquez Encizo

Todo este tiempo he tratado de encontrar unas palabras para agradecer todo lo que has hecho por mi, no terminaría de escribir, pero quiero decirte que ha llegado la hora de cosechar tus frutos que sembraste en toda mi formación y que un día me vieras realizado es lo único que puedo darte gracias por tu cariño tu paciencia y tu confianza.

A Julio Juárez Márquez

Padre tus ejemplos como tu trabajo me han enseñado a ser un hombre responsable, he aprendido a valorar lo que tengo y lo que se hace para tenerlo y espero que nunca cambies que no te des por vencido que tu iniciaste una familia y mis hermanos te necesitan por mucho tiempo para que los formes unos hombres de bien.

A Rosario Márquez Encizo

Tía me ha apoyado en momentos difíciles no se como agradecerse pero espero retribuírselo algún día gracias.

A Pablo Martínez Juárez

Tío me ha soportado todo este tiempo a pesar de mi humor espero seguir ayudándolo como usted lo ha hecho conmigo y tenemos que soportarnos gracias.

A Leticia Euroza Méndez

Profesora me enseñó a caminar solo desde niño para que fuera un hombre responsable.

A Norma Ivonne Hernández Vargas

Mas que una profesora es mi amiga que puedo contar con usted en cualquier momento y que me ha ayudado a poner los pies en la tierra en situaciones difíciles de mi vida

A Maria de Lourdes Rodríguez Pérez y su Esposo.

En la vida hay gente noble y buena pero como ustedes es difícil de encontrar, su apoyo es de gran importancia para terminar esta tesis, su tiempo y dedicación han hecho posible que este trabajo pueda ser concluido estoy en deuda gracias.

A José Manuel Ramírez Mora

Inge fue usted una guía en la escuela en lo profesional como en lo personal sus consejos y su tiempo son valiosos, me siento dichoso de haberlo conocido y le agradezco su paciencia y tranquilidad que me dedico todo este tiempo.

A Henry Escamilla Tolosa

Sus consejos como sus correcciones me han hecho reflexionar que debo de cambiar algunas cualidades de mi persona para no lidiar con las personas.

A Juan Pérez Gastaldi

Su apoyo como profesor y tutor de beca me permitió seguir en la carrera, su confianza me dio seguridad para terminar esta tesis.

Amigos de I.M.E, R.R.I.I, PEDAGOGIA, ECONOMIA E ICO

Convivir con ustedes ha sido algo muy padre, hemos tomado caminos diferentes pero no significa que me olvidare de ustedes por breve que haya sido el tiempo, espero que sigamos en contacto a lo largo del tiempo a Ricardo, David, Hugo, Jose Luís, Alfredo, Noe, Yara, Carlos, Dianita, Itzel, Adrián, Olivia, Denisse, Josajandy, Roció, Griselda, Raul, Oswaldo, Isabel "chabelita", Azucena, Samy, Ruth, Uribeth, Alex, Alma y al Charrito Mauricio

A mis Sinodales

En la carrera sus conocimientos me han permitido avanzar en el camino, sus observaciones y comentarios en esta tesis la hacen posible concluirla a: Barrón Vera Raúl, Enrique García Guzmán, Juan Pérez Gastaldi, Adrián Paredes Romero y Arturo Alvarez Ocampo

UNAM-PRONABES

Gracias universidad por permitirme concluir mi sueño mas grande de poder verme realizado como un profesional, todo el apoyo recibido de PRONABES lo he aprovechado y pondré en alto el nombre de mi UNIVERSIDAD y mi FACULTAD

CONACYT-COMECYT

Su apoyo me permitirá no solo concluir esta tesis, si no también dar seguimiento a mis trámites de titulación para realizarme como profesional y poder servir a mi país

= ESPECIALES =

Areli Reyes Castrejon

Durante mi carrera me enfrente a diversos obstáculos que invadieron mi trayecto y cuando todo parecía estar perdido apareció una estrella que me devolvió las fuerzas, me motivo para cumplir y continuar con mi camino, por eso y mas quiero que sepas que gracias a ti veo cumplida mi meta mas anhelada.

A Carlos Pastor Paz

Este año ha sido muy difícil para poder concluir mi tesis en especial, pero he aprendido que a veces se requiere atravesar fronteras tener paciencia y esperanza para encontrar lo que necesitamos, aunque no te conozco en persona tus correos desde España son la clave para terminar esta tesis y solo puedo decir gracias.

A Olivia García Santiago

Contigo inicie un camino diferente, tuve miedo de caer y te perdí, aprendí que debo de esforzarme y luchar mas para conseguir lo que quiero. Espero algún día tu me permitas caminar a tu lado y si no es así al menos tener un bello recuerdo de que fuiste parte importante en esta etapa de mi vida.

A Noe Alfredo Martínez Sánchez

Mi buen amigo en la carrera como en la vida se requiere de apoyo moral y trabajo en equipo es para mi un honor haber convivido en todo este tiempo y quiero que sepas que caminos diferentes hemos tomado, deseo conservar tu amistad en la vida.

A todas las personas que de una u otra manera nos apoyoran en todo lo que estuvo de su parte para llegar a esta meta.

JAVIER JUAREZ MARQUEZ

Quiero expresar mi agradecimiento

A la UNAM, por darme una sólida formación teórica y practica para poder desarrollarme profesionalmente.

A mi Director de Tesis, Ing. Arturo Ocampo Álvarez por asesorarme a lo largo de la tesis por compartir su conocimiento y experiencia científica, fundamentales para la terminación de este trabajo.

A mis padres, Rosa M. Sanchez y Jaime Martinez por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera.

A Linux (Javier) por ser buen amigo, excelente compañero de trabajo que sin su ayuda no hubiera podido sacar adelante los proyectos de la escuela.

Al Ing. José Ramírez Mora, por su asesoría y consejos en los proyectos que realizamos, por permitirnos trabajar en el laboratorio.

Al Ing. Juan Gastaldi por su ayuda y sus consejos.

A la profesora Maria de Lourdes por sus valiosas correcciones que hizo a la tesis y por sus sugerencias.

A Carlos Pastor por su ayuda y conocimientos que nos ayudo a la conclusión de esta tesis.

A mi abuelita Fermina, sé que me ves y estas orgullosa de mí.

A mi tío Genaro por su ayuda y apoyo para culminar mi carrera.

A Edgar Priego por ser un gran amigo, gracias por tu amistad y ayuda.

A el Comecyt y al Conacyt por su apoyo recibido para la conclusión de esta tesis.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Noé A. M. S.

INDICE

INTRODUCCION	V
CAPÍTULO 1. INSTRUMENTACION VIRTUAL MEDIANTE LABVIEW	1
1.1 La instrumentación virtual	3
1.2 Breve historia de la instrumentación	3
1.3 Instrumento virtual	5
1.4 ¿Como construir un instrumento virtual?	9
1.4.1 Comparación del instrumento virtual versus el tradicional	11
1.5 Campos de aplicación de la instrumentación virtual	12
1.5.1 La instrumentación virtual como herramienta para la adquisición y procesamiento de señales biomédicas.	12
1.5.2 Entrenador de Refrigeración y Aire Acondicionado asistido por computador	14
1.5.3 Entrenador de Electricidad Básica asistido por computador	15
1.5.4 Entrenador de Controles Eléctricos para Máquinas Rotativas	16
1.6 ¿Qué es LabVIEW?	17
1.7 Aplicaciones de LabVIEW	18
1.8 Programación gráfica con LabVIEW	18
1.9 Diseño de la interfaz de usuario a partir de su código.	18
1.10 Entorno LabVIEW	20
1.11 Flujo de Datos	23
CAPÍTULO 2. SISTEMAS SCADA	24
2.1 Supervisión y control de adquisición de datos (SCADA)	26
2.2 Adquisición de datos: Antes y Ahora	27
2.3 Funciones principales del sistema scada	29
2.3.1 Funciones mas específicas	29
2.3.2 Prestaciones	29
2.3.3 Flexibilidad	30
2.4 Demandas y requerimientos de la adquisición de datos	31
2.5 Tecnología para la adquisición de datos	33
2.5.1 Tecnología 1: bus de comunicación poderoso.	34
2.5.2 Tecnología 2: componentes electrónicos avanzados.	35
2.5.3 Tecnología 3: arquitectura flexible de hardware	36
2.5.4 Tecnología 4: software poderoso	36
2.6 Componentes de un sistema scada	37
2.7 Transmisión de la información	42
2.7.1 Comunicaciones	44
2.8 Dispositivos de campo y cableado	45
2.8.1 Redes industriales	45
2.8.2 Buses de campo	46
2.9 Evolución de los sistemas scada	47
2.10 Vulnerabilidades inherentes a scada	48
2.10.1 Dificultad para parchear vulnerabilidades	48
2.10.2 Funcionalidad con respecto a seguridad	48
2.10.3 Confianza infundada	51
2.11 Tipología de ataques a sistemas scada	51

CAPÍTULO 3. SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL	54
3.1 Historia de los sensores	56
3.2 Sensores electrónicos	56
3.3 Tipos de sensores	57
3.4 Terminología	58
3.5 Sensores de temperatura	58
3.5.1 Introducción	58
3.5.2 Tipos de sensores de temperatura	59
3.5.2.1 Sensores de temperatura con termopares	59
3.5.2.2 Substitución de la temperatura de referencia para referencia del punto de hielo.	61
3.5.3 Acondicionadores de señal para termopares AD594.	62
3.5.3.1 Acondicionador de señal de un termopar	63
3.6 Sensores de temperatura con elementos resistivos	64
3.6.1 RTD (Resistance Temperatura Detector)	64
3.6.2 Termistores	65
3.6.3 Sensores de Temperatura con Semiconductores	65
3.6.4 Sensores de Temperatura con Salida en Corriente	66
3.6.5 Sensores de Temperatura con Salida en Tensión	69
3.6.6 Sensores de Temperatura con Salida Digital	70
3.6.7 Sensores de Silicio con efecto Resistivo	71
3.6.8 Compensación de temperatura en un convertidor A/D integrado en un Microcontrolador	75
3.6.9 Termostatos	76
3.7 Sensores de presión	78
3.7.1 Sensores de Presión Resistivos	78
3.7.2 Sensores de Presión Piezo-Cerámicos/Multicapa	79
3.7.3 Sensores de Presión con Semiconductores	79
3.7.4 Sensores de Presión resistivos	80
3.7.5 Sensores Piezoeléctricos	84
3.7.6 Sensores de Presión con Semiconductor	85
3.7.7 Funcionamiento de Sensores de presión MPX de Motorola	85
3.7.8 Posibilidades de elección	85
3.7.9 Estructura básica	86
3.7.10 Elemento sensor básico.	87
3.7.11 Tipos de complejidad del chip	89
3.7.12 Acondicionador de la señal interno	90
3.7.13 Montaje y opciones de los sensores de Presión de la Serie MPX de Motorola	90
3.7.14 Aplicaciones de medida de Presión	91
3.8 Acondicionadores	91
3.9 Consideraciones sobre los Amplificadores Operacionales:	93
3.9.1 Amplificador Operacional “Ideal”	93
3.9.2 Amplificador Operacional “Real”	93
3.10 Categorías de los Amplificadores	94
3.10.1 Precisión	94
3.10.2 Baja corriente de “bias” (low bias current)	95
3.10.3 Bajo ruido (low noise)	95

3.10.4 Alta velocidad (high speed)	95
3.10.5 Alimentación única (single supply)	95
CAPÍTULO 4. MIROCONTROLADOR PIC, PUERTO SERIE y MAX 232	96
4.1 Procesadores en un sistema de adquisición de señal	98
4.2 Microcontroladores	98
4.3 DSP	100
4.4 Microcontrolador PIC16F877A	101
4.4.1 Muestreo	104
4.4.2 Cuantificación	105
4.4.3 Técnicas de cuantificación	105
4.4.4 Registros del modulo de A/D	106
4.4.5 Registro A/D CONT1	109
4.4.6 Los registros ADRESH y ADRESL	110
4.4.7 Temporización	111
4.4.8 Selección del reloj del convertidor del A/D	113
4.4.9 Tiempos de funcionamiento	114
4.4.10 Ejemplo de conversión utilizando REF02	116
4.4.11 Programa en c, de configuración del conversor A/D	117
4.5 Teorema de muestreo NYQUIST-SHANNON	120
4.5.1 Errores de interpretación frecuentes con relación al teorema y al proceso de Muestreo	121
4.6 Puerto serial o Rs232	123
4.6.1 Conexiones (desde el DTE)	125
4.6.2 Construcción física	126
4.6.3 Tipos de comunicación	126
4.6.4 Comunicación sincronía	126
4.6.5 Comunicación asíncrona	126
4.6.6 Tipos de canal	129
4.6.6.1 Modo simples	129
4.6.6.2 Modo Half Duplex	129
4.6.6.3 Modo Full Duplex	129
4.6.7 Los circuitos y sus definiciones	129
4.6.7.1 AA: Protección a tierra	134
4.6.7.2 AB: Señal de Tierra	134
4.6.7.3 BA: Transmisión de datos (TX)	134
4.6.7.4 BB: Recepción de datos	135
4.6.7.5 CA: Solicitud de envío (RTS)	135
4.6.7.6 CB: Autorización de envío (CTS)	135
4.6.7.7 CC: Datos listos para enviar (DSR)	136
4.6.7.8 CD: Terminal de datos lista (DTR)	136
4.6.7.9 CF: Detección de Portadora de Datos (DCD)	136
4.6.7.10 CE: Indicador de llamada (RI)	136
4.6.7.11 CG: Calidad de la señal (SQ)	136
4.6.7.12 CH: Selector de velocidad de la señal de datos (DSRS)	137
4.6.7.13 CI: Selector de velocidad de la señal de datos (DSRSB)	137
4.6.7.14 Circuitos de cronometro	137
4.6.7.14.1 DA & DB: Cronómetro de señal del transmisor	137

4.6.7.14.2 DD: Cronómetro de señal del receptor (DCE)	137
4.7 Tabla de verdad del RS-232	138
4.8 Características eléctricas de cada circuito	139
4.9 Max232 (conversor TTL - RS232)	140
CAPÍTULO 5. DESARROLLO DEL PROYECTO	142
5.1 Análisis de requerimientos	144
5.2 Especificaciones del equipo	144
5.3 Arquitectura del sistema	144
5.4 Desarrollo del proyecto	145
5.5 Diseño de hardware	146
5.6 Diagrama de la tarjeta del sistema de adquisición de datos (implementación de hardware)	147
5.7 Prueba de hardware - Elaboración de la tarjeta de adquisición de datos	152
5.8 Diseño de software - Interface de comunicación maquina a PC	158
5.9 Implementación de software - instrumentó virtual práctica 4 compresores	167
5.10 Pruebas de software	172
5.11 Integración del sistema	174
5.12 Validación del sistema	174
5.13 Operación, mantenimiento y evolución	174
CONCLUSIONES	175
GLOSARIO	177
BIBLIOGRAFIA	196

INTRODUCCIÓN:

Uno de los retos que en el presente siglo se ha planteado en el ámbito educacional es el desarrollo e implementación de estrategias y medios de enseñanza dirigidos a desarrollar habilidades y actitudes perfeccionadas en los estudiantes, a fin de que adquieran conocimientos y herramientas que les permitan estar funcionalmente activos en lo profesional y que sean capaces de tomar decisiones que les lleven a resolver genuinamente los problemas de economía, estado y medio ambiente derivados del desarrollo industrial y social de la última parte del siglo XX, lo que demanda del alumno el ejercicio del principio de compartir los recursos y conocimientos de que dispongan, a través de la práctica de aprendizajes colaborativos.

En ese sentido la vinculación de la educación con la tecnología ha ampliado las oportunidades para transformar y mejorar los procesos enseñanza y aprendizaje. En la enseñanza de la ingeniería, especialmente en el área de laboratorios, el problema de la rapidez del cambio tecnológico adquiere especial relevancia y se refiere a lo siguiente: ¿cómo suministrar a los estudiantes experiencias significativas, actualizadas con recursos limitados?

El alto costo de los equipos sigue siendo una limitación, especialmente en los países subdesarrollados. Una solución a este problema es emplear en los laboratorios técnicas de enseñanza y aprendizaje basadas en computadoras personales, en los cuales se reemplacen equipos convencionales por computadoras, instrumentos virtuales y sistemas de adquisición de datos, que permitan a los estudiantes hacer adquisición, procesamiento y control de señales físicas en tiempo real a costos menores.

La instrumentación virtual es una herramienta que permite pasar estas fronteras en los cambios tecnológicos ya que permite simular los equipos convencionales de instrumentación a un costo menor y es posible aplicarla a casi todas las ciencias

que requieren el análisis y la adquisición de la señales para tratar nuevos fármacos, nuevas herramientas de medición, nuevas soluciones.

Con el uso de los microcontroladores cada vez se requiere de menos componentes para realizar una tarjeta de adquisición de datos utilizando los diferentes medios de comunicación como son serial, paralelo, infrarrojo, usb, etc. Utilizan diferentes lenguajes para su programación y tienen un costo apropiado para las diferentes opciones que permiten en su arquitectura. El acoplamiento con el software es sencillo y es posible interpretar en tablas, gráficos las señales adquiridas. El software también ofrece una serie de herramientas para hacer un análisis más profundo, éste permite la introducción de fórmulas muy complejas, el uso de programas para simulación como son el Multisim para circuitos, Excel para el manejo de datos entre otras muchas funciones.

El objetivo del presente estudio es proponer el desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos para el compresor de baja presión del laboratorio de termofluidos reemplazando los instrumentos de medición tradicionales: termómetros de mercurio y manómetros de presión. Por un sistema de adquisición de datos el cual es un instrumento virtual que realiza las mediciones en tiempo real mediante una tarjeta de interfaz con la PC. Contribuyendo a la disminución de los costos de modernización de los diferentes equipos que hay en la facultad. Por ejemplo la empresa Didacta Italia fabrica este tipo de dispositivos o tarjetas para realizar las mediciones de equipos como el compresor de baja presión en este caso.

En el capítulo 1 se describe el concepto de instrumentación virtual, dando algunos datos históricos de cómo han ido evolucionando los sistemas de medición y cómo han tenido gran impacto en la industria. Destacando la importancia de la instrumentación virtual como herramienta de adquisición de señales de diferentes tipos de aplicaciones como lo son: adquisición de señales biomédicas,

entrenadores de refrigeración, calderas, comunicaciones, sistemas industriales, centrales nucleares, etc.

Además se da una introducción a la programación gráfica con labview, diseñando la interfaz gráfica a partir de su código, familiarizándose con el entorno labview conociendo lo que es un panel frontal y su diagrama a bloques.

En el capítulo 2 define lo que es un sistema SCADA, como realiza la adquisición de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida, como supervisa para poder ver desde un monitor la evolución de las variables de control, cómo realiza el control para así modificar en cualquier momento la evolución del proceso actuando directamente sobre el sistema que se monitorea a través de las salidas conectadas.

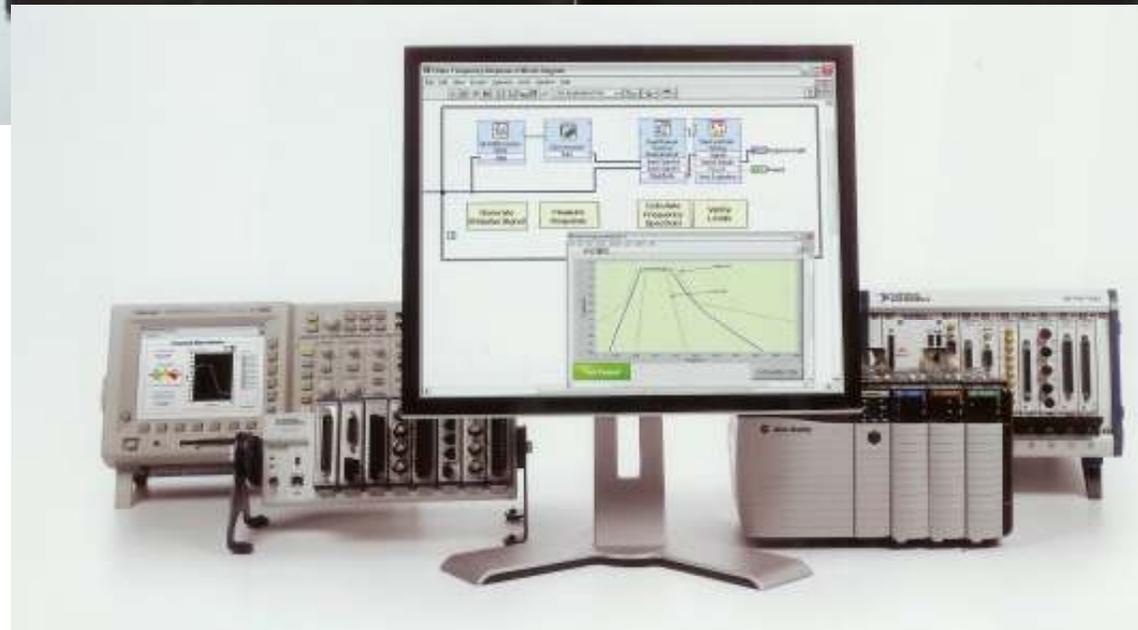
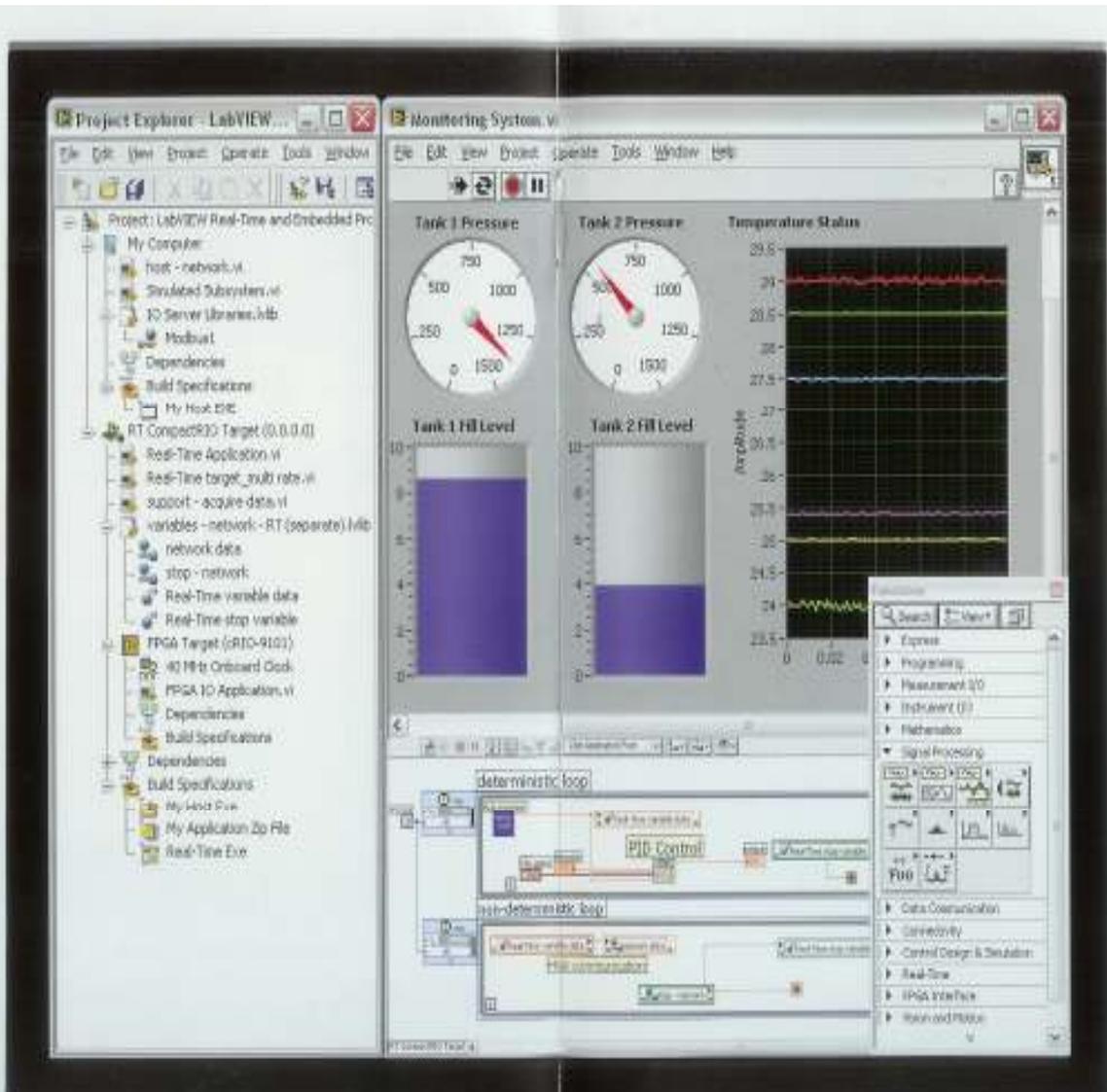
En el capítulo 3 se presentan los diferentes sensores que ofrece la industria para temperatura y presión que distribuye la empresa SILICA de los cuales se propone, un termopar tipo j y un sensor de presión de la serie MPX de la marca Motorola y los diferentes acondicionadores de señal para una óptima linealización en la señal obtenida del sensor en el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 4 se describe la implementación de la comunicación entre los diferentes componentes del proyecto como son los sensores, convertidor A/D y la Pc utilizando un microcontrolador PIC16F877A a través del puerto serial mediante el protocolo RS-232 y un convertidor de señal MAX-232.

En el capítulo 5 se describen las diferentes partes que integran la tarjeta de adquisición de datos, el software (practica 4 compresores realizado en LabVIEW), la programación del microcontrolador, la elaboración de la tarjeta y sus diferentes módulos de la tarjeta.

*INSTRUMENTACIÓN
VIRTUAL MEDIANTE
LABVIEW*

CAPÍTULO I



1.1 LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso del computador personal (PC) como "instrumento" de medición de tales señales como temperatura, presión, caudal, etc. Es decir, el PC comienza a ser utilizado para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en señales de corriente (Ej. 4-20mA) y/o voltaje (Ej. 0-5Vdc). Sin embargo, el concepto de "instrumentación virtual" va más allá de la simple medición de corriente o voltaje, sino que también involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas. Es decir, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales, las rutinas de almacenamiento de datos y la comunicación con otros equipos. Entre las ventajas de la instrumentación virtual se destaca que es capaz de automatizar: las medidas, procesado de la información, visualización y actuación remotamente, etc. [19]

1.2 BREVE HISTORIA DE LA INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación ha ido evolucionando a través del tiempo y siempre haciendo uso de los últimos avances de la tecnología en cada momento de la historia. Podemos observar esto en la figura 1.2.1 en la que se ha graficado la evolución de la instrumentación en función del tiempo, teniendo en cuenta el aumento de flexibilidad o funcionalidad de la misma.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

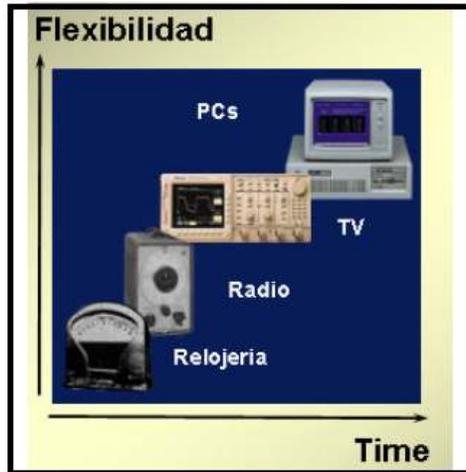


Figura 1.2.1. Evolución de la instrumentación

Partiendo de la premisa que hemos enunciado, que los instrumentos que miden los fenómenos eléctricos toman lo más avanzado de la tecnología de cada época para su funcionamiento, podemos analizar el gráfico antes mencionado de la siguiente forma: cuando comienza el estudio de las ciencias eléctricas allá por el siglo XIX, lo más avanzado tecnológicamente era la relojería. Entonces los instrumentos toman de ésta los elementos para su diseño y es así que las partes componentes de los mismos son agujas, resortes antagónicos, cojinetes de rubí, etc. Posteriormente con la aparición de los receptores de radio, los instrumentos toman de éstos elementos tales como potenciómetros, condensadores variables, válvulas rectificadoras de vacío (diodos), etc. El aporte más importante lo da el tríodo que como elemento amplificador, permite la amplificación de débiles señales para luego poder medirlas. Aparecen también los primeros osciladores o generadores de onda que hacen uso de la realimentación positiva.

Años más tarde, con el advenimiento de la televisión, los instrumentos adoptan para su funcionamiento el tubo de Rayos Catódicos y la exhibición en video para indicar las mediciones y entonces irrumpen los primeros osciloscopios, analizadores de espectros, analizadores de video, etc.

Contemporáneamente, con el ingreso de la Computadora y luego de la Computadora Personal, los instrumentos sacaron el máximo potencial de las

mismas. Así se abren camino dos nuevos conceptos muy importantes: la Instrumentación Virtual y los Sistemas de Adquisición o Toma de Datos (SCADA).

Observemos en la figura 1.2.1 que a lo largo del tiempo la instrumentación ha ido ganando en flexibilidad y funcionalidad. Esto ha ocasionado que los productos se impongan y obviamente sean adquiridos por los distintos tipos de clientes: la Industria, Laboratorios, Centros de Investigación, Universidades, Escuelas Técnicas, etc.

1.3 INSTRUMENTO VIRTUAL

La aparición de la Computadora Personal generó este nuevo término, pero para comprender qué es, comencemos por analizar primero la instrumentación tradicional.

Se entiende por instrumento tradicional todo aquel instrumento tipo hardware rígido que se puede adquirir de distintos fabricantes y cuya funcionalidad viene definida por éstos. Los instrumentos que observamos en la figura 1.3.1, y todos los instrumentos semejantes, que generalmente son anteriores a la aparición de la PC, son de los llamados tradicionales (Osciloscopios, Analizadores de Espectro, Frecuencímetros, etc.). Ejemplo de éstos son los instrumentos que podemos encontrar en algún Laboratorio de Electrónica.



Figura 1.3.1 Instrumentos Tradicionales

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Una vez comprendido el término Instrumentación Tradicional, veamos ahora qué significa Instrumentación Virtual, para lo cual haremos uso de la figura 1.3.2.

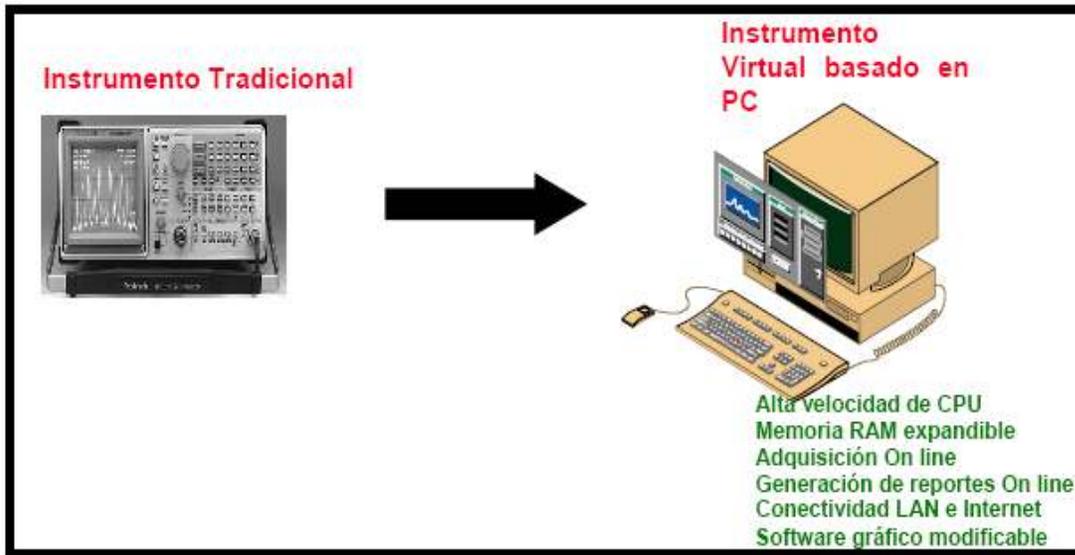


Figura 1.3.2. Instrumento Virtual

Analicemos el diagrama en bloques de cualquier Instrumento Tradicional como por ejemplo el de un Osciloscopio digital. Vemos que en el mismo hay unos bornes de entrada en los que ingresa, dependiendo del número de canales, la señal a un bloque amplificador y acondicionador de la misma. A continuación, la señal es convertida en digital a través de un Conversor Análogo Digital. La señal digitalizada es procesada por un microprocesador, este microprocesador tiene memoria RAM para guardar los datos adquiridos y pone en funcionamiento algoritmos conforme a un programa que se ejecuta y que reside en memoria ROM, estos algoritmos realizarán los análisis y cálculos de la señal adquirida. Los datos procesados por esta CPU son luego enviados a un bloque de Vídeo quien exhibe la señal en un TRC (Tubo de Rayos Catódicos) donde finalmente el operador observa los valores leídos y va realizando el ensayo.

Dejando por ahora de lado, el amplificador y el conversor analógico-digital, todos los bloques antes enunciados están contenidos en cualquier PC de escritorio e incluso con una potencialidad mucho mayor. Esto se debe a que la CPU o Unidad

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Central del Proceso de cualquier PC supera a la de cualquier instrumento digital del mercado en las siguientes especificaciones: velocidad, número de instrucciones, mayor versatilidad a la hora de definir cantidad de entradas y salidas, una memoria RAM mayor y ampliable fácilmente, una memoria ROM que es todo un disco duro en donde se guardan los programas que luego van a poder ejecutarse y editarse fácilmente, un procesador de video mejor por su tamaño, por su resolución y por la paleta de colores que puede manejar. Finalmente y refiriéndonos a la salida de la PC, ésta puede ser conectada a un video proyector para proyectar la imagen convenientemente ampliada sobre una pantalla. La figura 1.3.3 muestra un instrumento tradicional y un virtual.

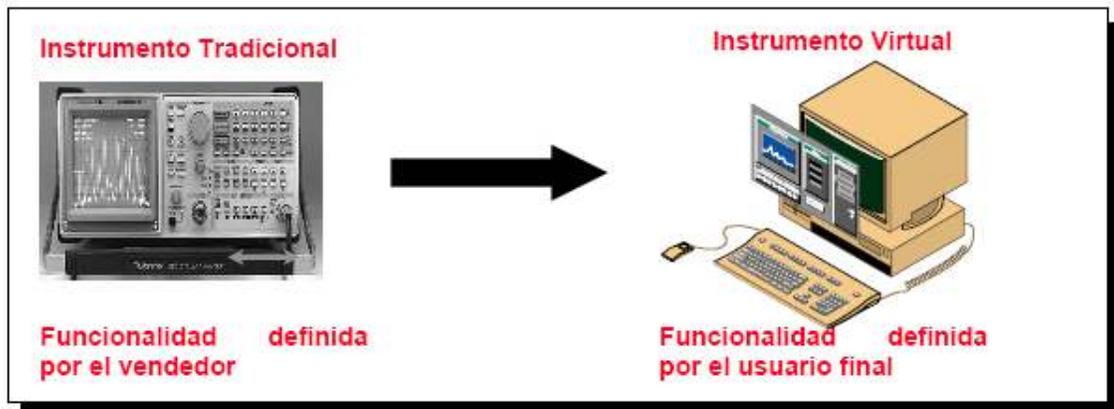


Figura 1.3.3 Instrumentación tradicional vs. Instrumentación Virtual

Algunas otras ventajas de la Instrumentación Virtual:

- 🌐 *Fácilmente escalable*: teniendo entradas disponibles en la tarjeta de adquisición de datos se puede ampliar la cantidad de entradas al instrumento virtual, simplemente con una modificación en el software. Otra opción es colocar un multiplexor o añadir otra tarjeta y sincronizarlos si fuera necesario.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

- 🌐 *Fácilmente reciclable:* si se dispone de un Instrumento Virtual funcionando como Osciloscopio y se desea pasar a un analizador dinámico o un datalogger, se puede hacer uso de la misma tarjeta. Simplemente hay que cambiar o modificar el software, ya que la funcionalidad del instrumento reside en el software.
- 🌐 *Fácilmente conectable con el mundo exterior:* Todos sabemos que la PC en la que se basa cualquier instrumento Virtual es fácilmente conectable a una LAN, a una Intranet o a Internet, con lo cual el dato adquirido puede estar disponible fácilmente en cualquier parte donde sea necesario.
- 🌐 *Facilidad para configurar el Instrumento Virtual:* se pueden guardar los settings o configuraciones de ese instrumento en el mismo disco duro de la PC, incluso con el nombre de cada ensayo que se va haciendo. Esto permite repetir cualquier ensayo poniendo a punto los controles del instrumento con sólo rescatar el archivo de los settings y así estaríamos en condiciones de repetir el ensayo que deseemos sin perder tiempo en recalibrarlo.
- 🌐 *Bajo costo por canal de adquisición:* ya que los fabricantes de PC compiten, en el ámbito mundial tenazmente entre ellos, la instrumentación virtual aprovecha estas ventajas de la competencia comercial: costos cada vez más bajos, PCs cada vez más rápidas, con mayor capacidad de memoria RAM y con discos duros con mayor almacenamiento. Esto permite que las empresas de adquisición de datos puedan generar hardwares o softwares cada vez más económicos, lo cual garantiza un costo bajísimo por canal adquirido.

Todo lo anteriormente mencionado demuestra que con la Instrumentación Virtual se aumenta la flexibilidad o funcionalidad a menores costos, lo cual parece ser la clave del éxito que la misma ha tenido y tiene, en el campo de la industria y de los laboratorios.

1.4 ¿CÓMO CONSTRUIR UN INSTRUMENTO VIRTUAL?

Para construir un instrumento virtual, sólo requerimos de una PC, una tarjeta de adquisición de datos con acondicionamiento de señales (PCMCIA, XT-ISA, PCI, etc.) y el software apropiado, los tres (3) elementos clave en la conformación de un instrumento virtual, teniendo un chasis de acondicionamiento de señales como elemento opcional.

Se dice que el "acondicionamiento de señales" es opcional, porque dependiendo de cada señal y/o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtraje, aislamiento, etc. de cada señal. Si la señal está en el rango de los +/- 5Vdc y no se requiere de aislamiento o filtraje, la misma puede ser conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

En el instrumento virtual, el software es la clave del sistema, a diferencia del instrumento tradicional, donde la clave es el hardware. Con el sistema indicado anteriormente, podríamos construir un osciloscopio "personalizado", con la interfaz gráfica que uno desee, agregándole inclusive más funcionalidad. Sin embargo, este mismo sistema puede también ser utilizado en la medición de temperatura, o en el control de arranque/parada de una bomba centrífuga. Es allí donde radica uno de los principales beneficios del instrumento virtual, su flexibilidad. Este instrumento virtual no sólo permite visualizar la onda, sino que a la vez permite graficar su espectro de potencia en forma simultánea.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Principales diferencias entre el instrumento convencional o tradicional, y el instrumento virtual:

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

Tabla 1.4.1: Instrumentos Tradicionales vs. Virtuales

La flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la reusabilidad, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, el bajo costo por función, el bajo costo por canal, etc. son algunos de los beneficios que ofrece la instrumentación virtual. La instrumentación virtual puede también ser implementada en equipos móviles (laptops), equipos distribuidos en campo (RS-485), equipos a distancia (conectados vía radio, Internet, etc.), o equipos industriales (NEMA 4X, etc.).

Existe una tarjeta de adquisición de datos para casi cualquier bus o canal de comunicación en PC (ISA, PCI, USB, serial RS-232/485, paralelo EPP, PCMCIA,

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

CompactPCI, PCI, etc.), y existe un driver para casi cualquier sistema operativo (WIN 3.1/95/NT, DOS, Unix, MAC OS, etc.).

1.4.1 COMPARACION DEL INSTRUMENTO VIRTUAL VERSUS EL TRADICIONAL

Las técnicas utilizadas normalmente para evaluar las características de medición de un multímetro digital (DMM) pueden ser utilizadas para evaluar las características de medición de un instrumento virtual (VMM).

Entre dichas características se encuentran las siguientes:

	DMM	VMM con tarjeta especializada	VMM con tarjeta de propósito general
Hardware utilizado	HP 34401 A DMM	DAQCard 4050	PCI-MIO-16XE-10
No. de Canales	1	1	16 (Diferencial)
Conversión AC	Trae RMS	Trae RMS	Trae RMS (por software)
Resolución (convertidor de 16-bits)	6 ¹ / ₂ – 4 ¹ / ₂ dígitos	5 ¹ / ₂ dígitos	4 ¹ / ₂ dígitos
Rango de entrada (ACV)	100 mv - 750 V	20 mV - 250 V	100mV - 250 V (con acondicionamiento SCXI)
Sensibilidad (ACV)	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
Rango de Entrada (DCV)	100 mV - 1000 V	20 mV - 250 V	100 mV - 250 V

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Sensibilidad (DCV)	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
NMRR	60 dB	80 dB	variable (80-120 dB)
CMRR	70 dB (AC), 140 dB (DC)	90 dB (AC), 30 dB (DC)	variable (80-120 dB)
Velocidad de medición (lecturas/seg.)	5-1 K lecturas/seg	10, 50 , 60 K lecturas/seg	100 K lecturas/seg

Tabla 1.4.1.1 DMM-VMM

1.5 CAMPOS DE APLICACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

A continuación se menciona algunos ejemplos de programas de la instrumentación virtual.

1.5.1 LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL COMO HERRAMIENTA PARA LA ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES BIOMÉDICAS. [22]

El campo de la adquisición, almacenamiento, procesamiento y posprocesamiento de señales biomédicas ha sufrido por estos tiempos cambios muy importantes. Estos se debieron o fueron iniciados a partir de la aparición y la popularización de nuevas herramientas para el tratamiento de estas señales.

Cuando no se disponía de medios informáticos la única alternativa posible era el hardware casi exclusivamente analógico.

Con la difusión de las computadoras personales fue posible introducir el tratamiento informático de las señales disminuyendo las exigencias en el hardware, aun cuando ya se debía incluir hardware digital para entre otras cosas realizar la necesaria conversión A/D. Sin duda que el elemento central de este cambio radicó en la aparición de hardware complementario para el

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

reprocesamiento (como los microprocesadores, microcontroladores y DSP), complementados por poderosos lenguajes de programación como el C++.

El siguiente punto de inflexión a partir del cual se transita en estos tiempos fue marcado por el desarrollo de la instrumentación virtual como herramienta para la adquisición y procesamiento de señales biomédicas. Existen en el mercado herramientas como Matlab, lenguaje de programación de notable potencia para el procesamiento de señales. Otras herramientas usadas son Mathematica y MathCad. Sin embargo, hace unos diez años, entran en escena con gran fuerza, las herramientas virtuales de programación de mucha versatilidad y potencia. Entre ellas el paquete LabVIEW desarrollado por National Instruments Corp.

En el caso del Grupo de Ingeniería Clínica (GIC) se decidió optar hace cinco años, por el uso de este software para la adquirir y procesar las señales biomédicas, aplicándolo en el proyecto de un sistema para la adquisición de señales electroencefalográficas.

El sistema no sólo reemplaza el registro de inscripción en papel que dispone el EEG clásico, mostrándolo en la pantalla de la PC si no que además de ver las señales adquiridas, también se pueden procesar para obtener información extra presente en las mismas, la cual resulta de interés tanto clínico como científico.

Para la adquisición se opta por una placa comercial de la empresa ComputerBoards Inc. De ocho canales con una resolución de 12bits y una velocidad de 20[KHz].

Para lograr una forma confiable y práctica de extraer la información de la señal se utiliza Transformada de Fourier. En el software LabVIEW se dispone de un conjunto de herramientas bajo el nombre de Measurement. En particular Amplitude and Phase.vi, es una herramienta que calcula la transformada en forma

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

eficiente para un conjunto finito de datos, siendo posible obtener su módulo y fase en forma simultánea.

Para graficar directamente los potenciales sobre el cuello cabelludo en función de sus bandas se utiliza la herramienta Auto Power Spectrum.vi.

Las restantes herramientas usadas, son común a todos los software de instrumentación virtual (funciones tales como, guardar los datos adquiridos y presentarlos en pantalla).

Actualmente el sistema desarrollado en común con el Hospital Córdoba ubicado en Argentina esta en fase de prototipo y de los ensayos realizados se puede asegurar que la instrumentación implementada con esta herramientas es altamente confiable y abre un panorama promisorio para futuros trabajos en la adquisición y procesamiento de señales biomédicas.

1.5.2 ENTRENADOR DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO ASISTIDO POR COMPUTADOR [19]

El entrenador desarrollado en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Regional Risaralda en Colombia consta de 2 transductores de presión, 4 transductores de temperatura, transductor de corriente, 3 transductores de voltaje ya que el sistema es trifásico, 4 válvulas solenoides para el control de flujo de refrigerante, compresor, alarmas de funcionamiento. Todo esto para el control a través del computador, adicionalmente tiene los controles e indicadores manuales para realizar el control cuando el computador no esté conectado. El sistema es configurable por software para habilitar y deshabilitar componentes, se han desarrollado sesenta prácticas para trabajar los contenidos establecidos en el programa de la institución. La figura 1.5.2.1 muestra algunos despliegues de panel frontal elaborados para la formación en refrigeración y aire acondicionado, se tiene elaborado más de 200 aplicaciones articuladas desarrolladas en LabVIEW para

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

tener un curso de formación de aproximadamente 60 prácticas que permiten cumplir con el itinerario de formación en refrigeración y aire acondicionado.



Figura 1.5.2.1 Presentación de panel frontal de los subvis desarrollados para la formación en refrigeración y aire acondicionado.

1.5.3 ENTRENADOR DE ELECTRICIDAD BÁSICA ASISTIDO POR COMPUTADOR [19]

El entrenador desarrollado consta de 4 grupos de elementos pasivos variables: resistencia variable, capacitancia variable, inductancia variable, estos grupos pueden ser habilitados o deshabilitados por software, se puede configurar en serie o en paralelo o mixto a través de relés y lógica cableada, el entrenador contiene un transductor de corriente que permite a través de relés medir la corriente que circula a través de cada objeto o la corriente total del circuito ya sea en paralelo, en serie o mixto, de tal forma se obtiene instrumentos virtuales como voltímetros, vatímetros, amperímetros, medidor de ángulo de fase multiplicados a través de la red por medio del programa cliente servidor por medio del protocolo TCP/IP. La

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

figura 1.5.3.1 muestra algunos despliegues de panel frontal elaborados para la formación en electricidad básica tanto en corriente directa como corriente alterna.



Figura 1.5.3.1 Presentación de panel frontal de los subvis desarrollados para la formación en Electricidad Básica.

1.5.4 ENTRENADOR DE CONTROLES ELÉCTRICOS PARA MÁQUINAS ROTATIVAS [19]

Este entrenador consta de treinta y cinco prácticas y de un módulo interfase de potencia para controlar por el puerto paralelo ocho salidas a relés que están conectadas a los contactores que energizan los motores para analizar la inversión de marcha, conexión estrella delta, etc., permitiendo observar a través del computador el comportamiento electromagnético de los diferentes relés que intervienen en el control de los diferentes automatismos. La aplicación tiene videos

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

editados en otras aplicaciones que muestran el comportamiento electromagnético de dichos dispositivos, también incluye un menú interactivo de la simbología relacionada con el control en lógica cableada, en la figura 1.5.4.1 se muestra algunos de los subvis diseñados para las treinta y cinco prácticas.



Figura 1.5.4.1 Panel frontal de los subvis desarrollados para la formación en Controles eléctricos para máquinas rotativas.

1.6 ¿QUE ES LABVIEW? [20]

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 de usuario mediante una consola interactivo basado en software. Se puede diseñar especificando el 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).

1.7 APLICACIONES DE LABVIEW

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.

1.8 PROGRAMACIÓN GRÁFICA CON LABVIEW

Cuando se diseñan programas con LabVIEW se está trabajando siempre bajo algo denominado VI, es decir, un instrumento virtual, se pueden crear VI's a partir de especificaciones funcionales que se diseñen. 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 interfaz con el usuario, tener entradas con su color de identificación de dato, tener una o varias salidas y por su puesto ser reutilizables.

1.9 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO A PARTIR DE SU CÓDIGO.

En el ambiente de trabajo de LabVIEW existen dos paneles (figura 1.9.1), el panel frontal y el panel de programación ó diagrama de bloques; en el panel frontal se diseña la interfaz con el usuario y en el panel de programación se relacionan los

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan en sí como funciona el programa o el sistema, exactamente es la parte donde se realizan las especificaciones funcionales.

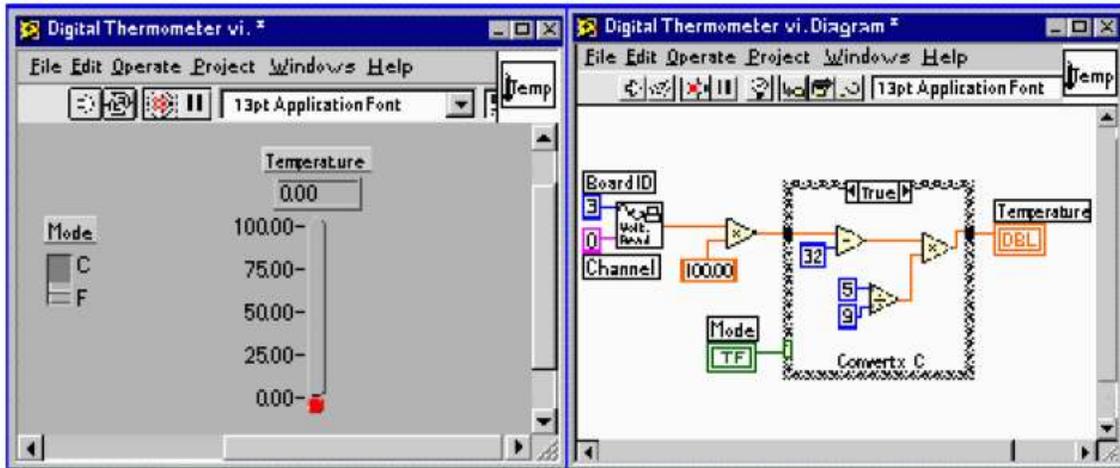


Figura 1.9.1 Panel frontal y panel de programación.

En el panel de programación se puede diseñar de manera gráfica y como si fuera un diagrama de bloques el funcionamiento de su sistema. La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de íconos que representen los datos numéricos e íconos que representan los procedimientos que deben realizar los (VI's), con estos íconos y mediante una conexión simple como lo es una línea recta se enlazan para determinar una operación y/o una función. Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica, por ejemplo un dato booleano se caracteriza por ser una conexión verde, cada tipo de dato se identifica con un color diferente dentro de LabVIEW; también es necesario tener en cuenta que cuando se realiza una conexión a un VI esta conexión se identifica por un tipo de dato específico, que debe coincidir con el tipo de dato de la entrada del VI (aunque esto no necesariamente es cierto ya que puede haber varios tipos de datos conectados de VI a VI, además de que un arreglo de datos ``cluster`` puede albergar varios tipos de variables) permitiendo una concordancia en el flujo de datos; no siempre el tipo de dato de la entrada del

VI es el mismo que el de la salida, pero sin embargo para la mayoría de los casos si se cumple.

El flujo de datos va de izquierda a derecha en el panel de programación y está determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Es fácil observar en el panel de programación cómo se computan los datos en cada parte del programa cuando se realiza una ejecución del programa paso a paso. En LabVIEW las variables se representan mediante una figura tanto en el panel frontal como en el panel de programación, de esta forma se puede observar su respuesta en la interfaz del usuario y en el flujo de datos del código del programa. Otros objetos como gráficas y accesos directos a páginas web cumplen esta misma condición.

1.10 ENTORNO LABVIEW [5]

La programación G (gráfica) de LabVIEW consta de un panel frontal y un panel de código como se mencionó antes. En el panel frontal es donde se diseña la interfase de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un ícono que los identifica en el panel de código o de programación. Los controles (figura 1.10.1) pueden ser booleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores; y los indicadores pueden ser como para el caso de controles pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros.

Las funciones pueden ser VIs prediseñados y que pueden ser reutilizados en cualquier aplicación, estos bloques funcionales constan de entradas y salidas, igual que en un lenguaje de programación estándar las funciones procesan las entradas y entregan una o varias salidas, estos VI pueden también estar conformados de otros subVIs y así sucesivamente, de esta forma se pueden

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

representar como un árbol genealógico donde un VI se relaciona o depende de varios SubVIs. LabVIEW tiene VIs de adquisición de datos e imágenes, de comunicaciones, de procesamiento digital de señales, de funciones matemáticas simples, hasta funciones que utilizan otros programas como Matlab para resolver problemas, otras mas complejas como "nodos de formula" que se utilizan para la resolución de ecuaciones editando directamente éstas como en lenguajes de programación tradicionales y definiendo las entradas y las salidas. LabVIEW también se puede utilizar para graficar en tres dimensiones, en coordenadas polares y cartesianas, tiene disponibles herramientas para análisis de circuitos RF como la Carta de Smith, tiene aplicaciones en manejo de audio y se puede comunicar con la tarjeta de sonido del computador para trabajar conjuntamente. Entre sus muchas funciones especiales se encuentran las de procesamiento de imágenes, como capturar una imagen a través de una tarjeta de adquisición como la PCI-1408 (monocromática), analizarla y entregar respuestas que difícilmente otros sistemas realizarían.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

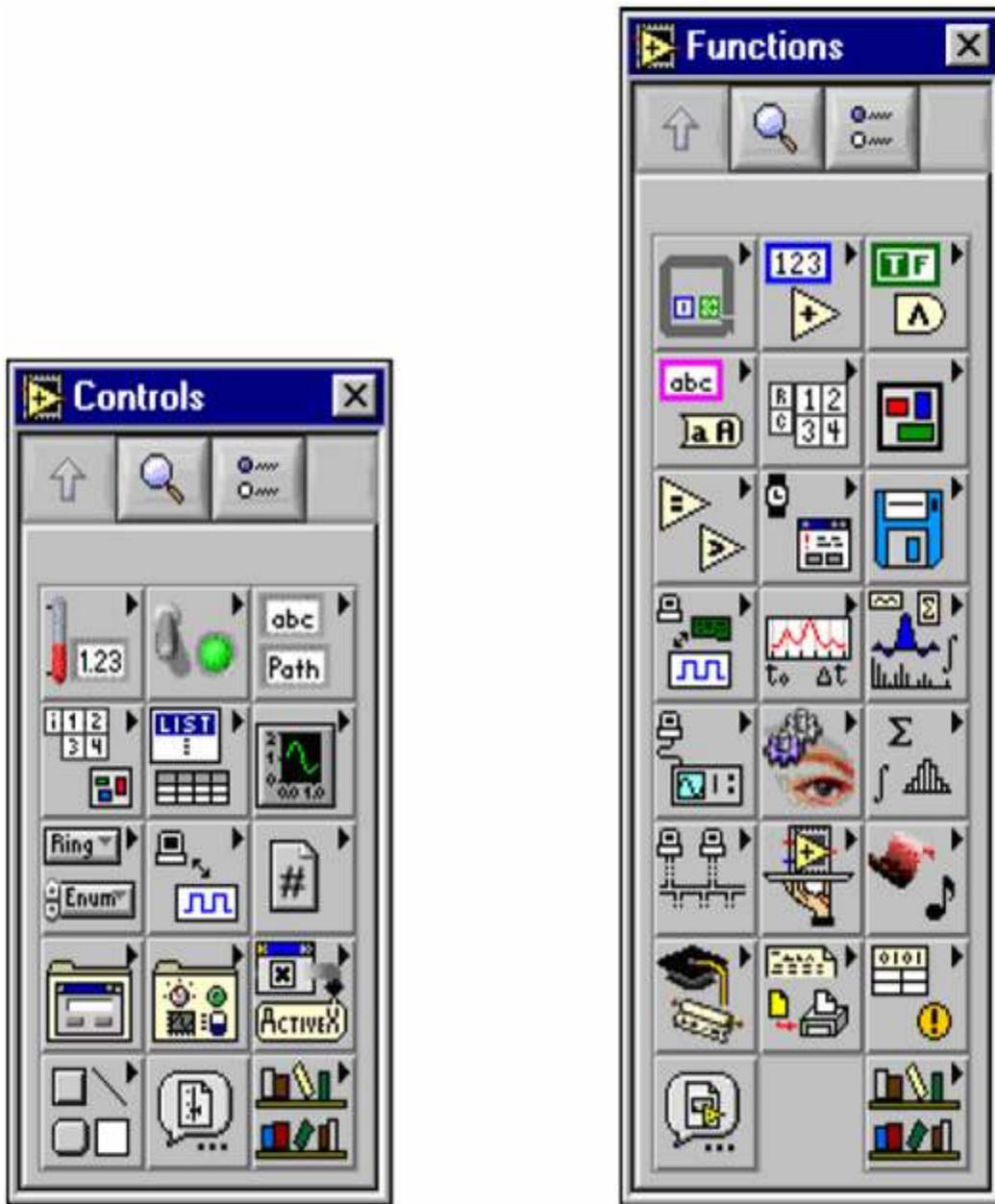


Figura 1.10.1 Controles del Programa LabVIEW

1.11 FLUJO DE DATOS

Otra característica se encuentra en el flujo de datos (figura 1.11.1), que muestra la ejecución secuencial el programa, es decir, una tarea no se inicia hasta no tener en todos sus variables de entrada información o que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuenta LabVIEW es más versátil ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido.

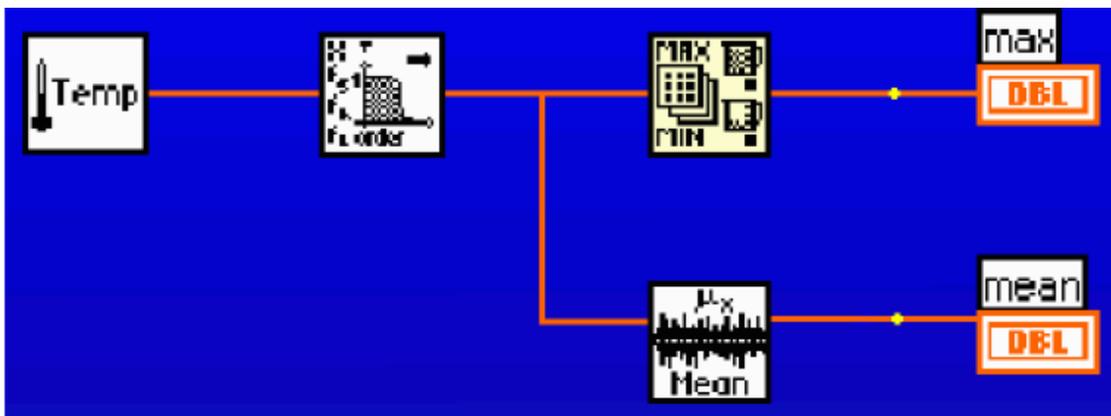
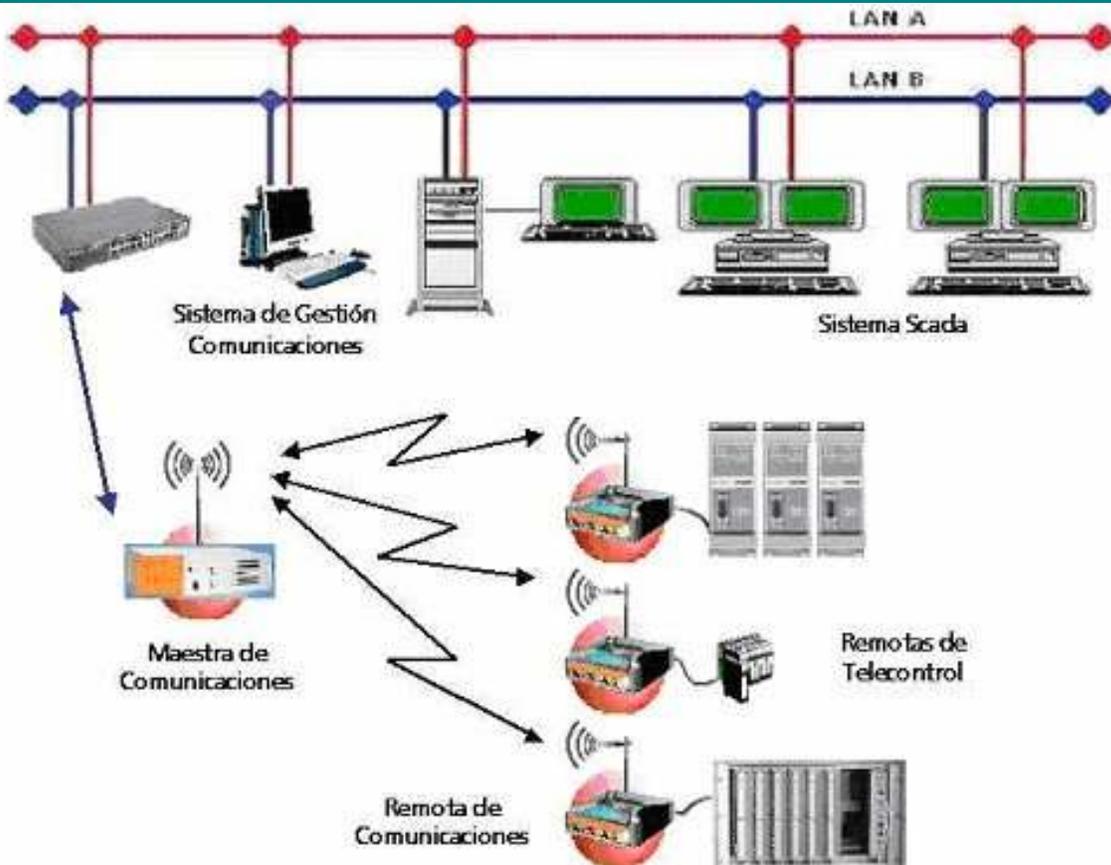
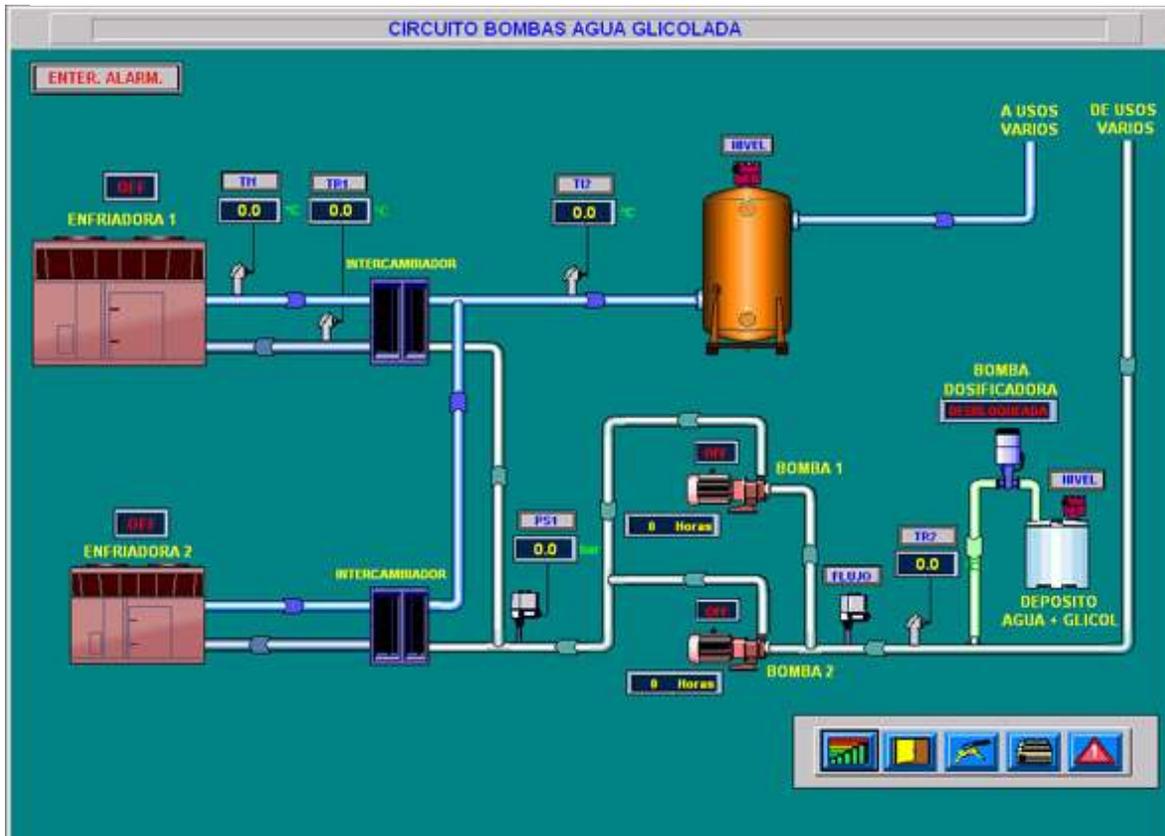


Figura 1.11.1 Muestra el flujo de Datos de la Temperatura

SISTEMAS SCADA

CAPÍTULO II



2.1 SUPERVISION Y CONTROL DE ADQUISICION DE DATOS (SCADA)

El término SCADA (del inglés “Supervisory Control and Data Acquisition”) se utiliza para referirse a los sistemas informáticos de apoyo a la supervisión de procesos industriales; mecanismos que permiten observar y actuar sobre el proceso desde una ubicación central. [15]

El proceso de “adquisición de datos” se puede definir como la recolección de información de forma automatizada de señales analógicas y digitales, y presentación de la misma en una forma que tenga sentido.

Hoy en día la adquisición de datos es un componente clave en diferentes industrias; por ejemplo, en una aplicación de tipo SCADA, es un proceso que permite hacer el monitoreo remoto de diferentes variables, como la presión, temperatura o flujo dentro de una caldera; en aplicaciones de pruebas en el área de manufactura, es el proceso de aplicar diferentes señales a un dispositivo, como un reproductor de DVDs, y medir la respuesta en sus componentes para verificar que funcione correctamente.

Durante las últimas décadas, se ha visto un cambio en la forma en que los ingenieros y técnicos realizan adquisición de datos, principalmente impulsado por las diferentes necesidades y requerimientos de las aplicaciones de medición. A continuación se presentarán aquellas necesidades que han impulsado este cambio, así como las diferentes tecnologías que se pueden aprovechar para atacarlas.

Los sistemas SCADA han eliminado la necesidad de estar físicamente vigilando y ajustando los componentes del proceso: una red de sensores transmite información del estado de los componentes a una sala de operadores que deciden si hay que realizar alguna modificación sobre el proceso. Muchas veces esta toma

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

de decisiones está apoyada por una unidad central que descarga al operario de tareas repetitivas, dejándole actuar sobre el sistema a muy alto nivel.

Las ventajas que aportan los sistemas SCADA los han llevado a ser el corazón informático en la operación de muchas de las infraestructuras que consideramos clave en nuestra vida cotidiana:

-  Medios de transportes (Control ferroviario, aéreo, tráfico.)
-  Utilidades (suministros de electricidad, agua, gas, etc.)
-  Centrales Nucleares
-  Sistemas Industriales (Químicas, refinerías, etc.)
-  Aplicaciones en Medicina (Señales Biomédicas)
-  Comunicaciones

2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS: ANTES Y AHORA

Hace más de 100 años, el proceso de recolección de datos era completamente manual, los ingenieros y científicos realizando experimentos en el laboratorio o los técnicos inspeccionando la línea de producción tomaban mediciones con “lápiz y papel”, confiando únicamente en su lectura visual y llevando un registro manual de las variables que querían monitorear y controlar. Conforme la tecnología ha evolucionado a lo largo de los años, se han desarrollado diversos sistemas de medición como registradores tipo plotters, datalogger independientes, o sistemas de instrumentación automatizados por la PC. Además, con una mayor adopción de las PCs, los sistemas de instrumentación basados en PC emergieron como una alternativa para aplicaciones que requieren de mediciones. En un sistema de medición basado en PC, la combinación de software poderoso y fácil de usar con

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

hardware modular y efectivo, en costo, permite realizar una tarea similar o superior a la de un instrumento tradicional. Esta gran diversidad de alternativas para tomar mediciones les da a los usuarios finales varias opciones para que seleccionen el sistema que mejor se ajuste a sus necesidades.

Antes de seleccionar un sistema de medición, es necesario tomar en cuenta que dependiendo en la industria que se trabaje, adquisición de datos significa algo diferente para los ingenieros: para alguien en el área de investigación y diseño se refiere al proceso de recolectar datos del mundo real para validar un modelo del ECU (engine control unit) de un motor. Por otro lado, en empresas de manufactura, adquisición de datos involucra una mezcla de señales de alta velocidad y alta precisión, por ejemplo, para verificar los componentes electrónicos de un circuito impreso. Finalmente, en el área de control de procesos, adquisición de datos es la parte de un sistema SCADA que recolecta información de manera remota y confiable. Al analizar cada uno de estos ejemplos, se puede apreciar que “adquisición de datos” como tal, abarca una amplia variedad de mercados y aplicaciones. Debido a esto, los fabricantes de instrumentos han propuesto a lo largo de los años su propia arquitectura de medición para servir a algún nicho de mercado particular. Por ejemplo, una arquitectura desarrollada inicialmente hace 30 años es la de los multímetros digitales (DMMs), que se utilizan para registro de datos en general, sin embargo en ocasiones están limitados a señales estáticas o de muy poca velocidad. Otra alternativa han sido los PLCs, por el diseño están optimizados para utilizar con señales digitales de actuadores e interruptores, pero sus velocidades de muestreo están limitadas a aproximadamente 1,000 muestras por segundo. Una tercera opción han sido los sistemas de interrupción basados en PC, donde la combinación de hardware y software permiten la definición del sistema, sin embargo, en este caso la implementación final esta definida típicamente por el usuario final y no por el fabricante. Como se ve, la mayoría de las soluciones de hardware atiende algunos de los requerimientos de las

aplicaciones de la adquisición de datos, pero fallan al intentar satisfacer el amplio rango de aplicaciones.

2.3 FUNCIONES PRINCIPALES DE UN SISTEMA SCADA [26]

- 🌐 **Adquisición de datos**, para recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- 🌐 **Supervisión**, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- 🌐 **Control**, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, plcs, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

2.3.1 FUNCIONES MÁS ESPECÍFICAS

- 🌐 **Transmisión.** De información con dispositivos de campo y otros PC.
- 🌐 **Base de datos.** Gestión de datos con bajos tiempos de acceso. Suele utilizar ODBC.
- 🌐 **Presentación.** Representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI (Human Machine Interface).
- 🌐 **Explotación.** De los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.

2.3.2 PRESTACIONES

Un paquete SCADA debe de ofrecer las siguientes prestaciones:

- 🌐 **Posibilidad de crear paneles de alarma**, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.

- ④ **Generación de históricos de señal de planta**, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- ④ **Ejecución de programas**, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas, bajo ciertas condiciones.
- ④ **Posibilidad de programación numérica**, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómatas, menos especializado, etc.
- ④ Con ellas, se pueden **desarrollar aplicaciones** basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.
- ④ Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un **paquete de funciones** que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general como C o Pascal.
- ④ Actualmente se está imponiendo VBA (Visual Basic for Applications), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad.

2.3.3 FLEXIBILIDAD

Un SCADA debe cumplir varios objetivos:

- ④ • Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- ④ • Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- ④ • Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

2.4 DEMANDAS Y REQUERIMIENTOS DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS [3]

Aunque se reconoce que existe una gran diversidad de aplicaciones que requieren del proceso de adquisición de datos, existen algunos factores comunes, que son independientes de la industria.

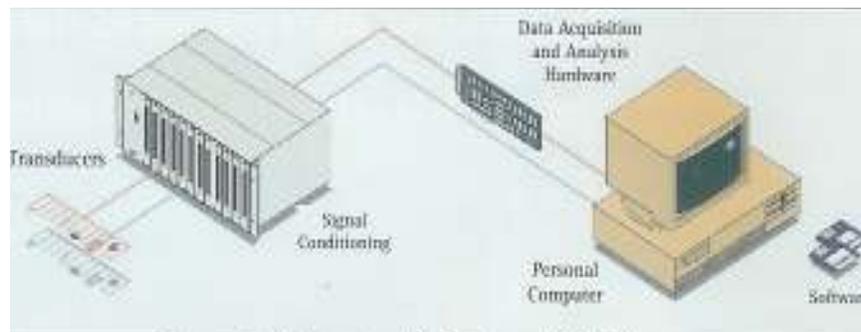


Figura 2.4.1 PC basada en un Sistema de Adquisición de Datos

Algunos ingenieros y científicos que en la actualidad construyen sistemas de medición sienten que las herramientas que hay en el mercado son suficientes para aquellas aplicaciones típicas de adquisición de datos; sin embargo, cuando requieren de mayor flexibilidad, estas herramientas ya no funcionan. Para poder resolver estas tareas típicas en los sistemas de medición, así como aquellas ocasionales que requieren de flexibilidad adicional, existen siete requisitos que un sistema de adquisición de datos debe satisfacer;

-Configuración y conectividad sencilla: los usuarios no requieren perder mucho tiempo en la instalación y configuración de un sistema de medición.

Lo último que necesitan es involucrar a departamentos ajenos, como el departamento de sistemas de empresa, para que instale su dispositivo. La solicitud de una IP o de permiso de administrador para una computadora toma tiempo y retrasa la implementación, ya que es necesario pasar a través de un proceso de aprobación.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

-Captura de datos de alta velocidad y sobre muestreo: nunca habrá tal cosa como el exceso de información, si el sistema permite al usuario tener más información que la requerida actualmente, es una buena opción mantener y almacenar estos datos, ya que se pueden utilizar para operaciones de análisis o de respaldo.

-Seguridad para el usuario y el sistema: el aislamiento es una característica muy importante en un sistema de medición, por que protege tanto al operador como al equipo de accidentes costosos causados por descargas eléctricas.

-Mezclas de señales dinámicas y estáticas: un problema al que los ingenieros se enfrentan regularmente con las soluciones ya existentes en el mercado es que estas están diseñadas únicamente para realizar mediciones de baja velocidad o para adquirir señales dinámicas, pero rara vez para ambas. Por ejemplo, puede existir un sistema de medición que este muy bien diseñado para tomar señales de temperatura, pero al momento de querer medir una señal de vibración para realizar mantenimiento predictivo, la solución sería adquirir un nuevo producto e integrarlo con el existente.

-Habilidad para agregar otros canales o tipos de mediciones: Esta necesidad esta muy relacionada con la anterior. Los usuarios no solo quieren poder tener diferentes señales en el sistema, si no que además necesitan la flexibilidad para aumentar el número de canales dinámicamente para adaptarse a los requisitos de su aplicación.

-Conectividad simplificada a los sensores y señales: una de las partes más costosas de los sistemas de medición es el cableado y los paneles de conexión para los sensores y señales. En ocasiones, se requieren incluso de implementaciones a la medida de los paneles de conexión, lo que eleva el precio final del sistema.

-*Software fácil de usar con capacidades avanzadas de análisis*: al final, un sistema de medición no está completo si no cuenta con una aplicación de software que permita realizar operaciones avanzadas como registro de datos, generación de reportes y análisis de señales (matemático o estadístico).

2.5 TECNOLOGÍA PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

Desde el punto de vista del fabricante de instrumentos, una de las operaciones para resolver estas diferentes necesidades es aprovechar las últimas tecnologías que están disponibles comercialmente, esto debido a que hoy en día se puede encontrar en el mercado tecnología que servirá para resolver cada uno de los requisitos que se mencionan previamente: uno de los retos para un fabricante de instrumentos no es desarrollar la tecnología, si no aprovechar la tecnología existente ya comprobada e integrarla para que resuelva estas necesidades. Por ejemplo, con los más recientes buses de computadoras, como USB o PCI Express que cuentan con un gran ancho de banda y son completamente plug-and-play, y se pueden resolver las necesidades de facilidad de configuración y sobre muestreo.

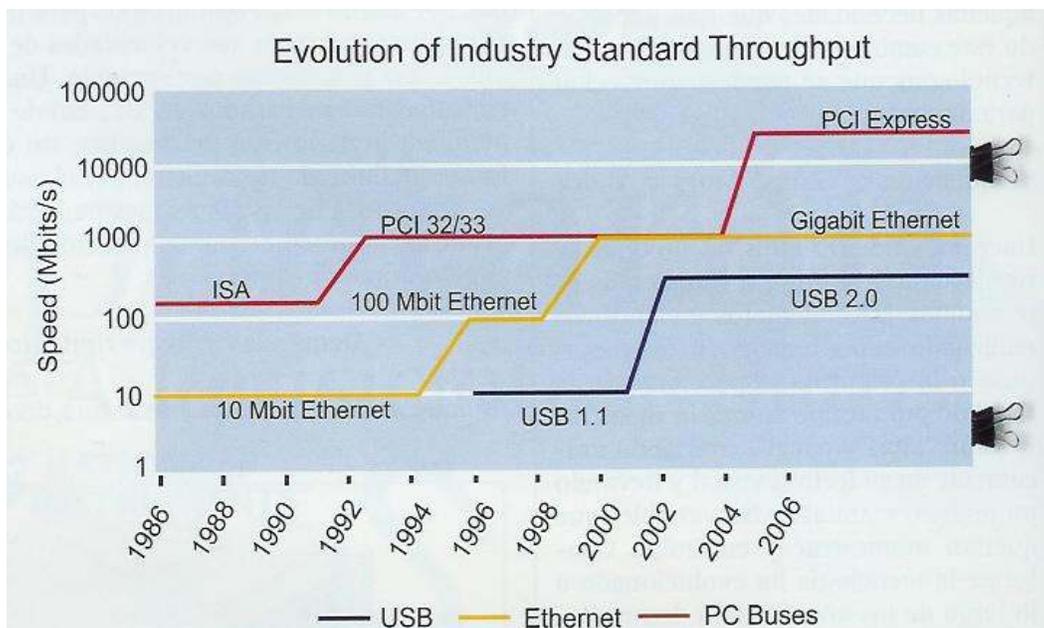


Figura 2.5.1 Muestra la evolución de los buses de comunicación.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Existen 4 tecnologías clave que un sistema de medición debe incluir en su proceso de adquisición de datos para poder satisfacer las demandas de los clientes: un bus de comunicación poderoso, componentes electrónicos avanzados, arquitectura de hardware flexible, y software poderoso y fácil de usar. Se explicara cada una de las tecnologías más a detalle:

2.5.1. TECNOLOGÍA 1: BUS DE COMUNICACIÓN PODEROSO.

El propósito general de un bus de comunicación es el enviar comandos y datos entre el dispositivo de medición y una unidad central, como una PC, o entre diferentes dispositivos, como los PLCs o tarjetas insertables. Existe una gran variedad de buses de comunicación disponibles: desde buses antiguos, como GPIB o serial (que tienen una velocidad máxima típica de 1.8 MB/s y 115200 kbps, respectivamente) hasta buses populares como USB y Ethernet, terminando con buses de alta velocidad como PCI y PXI Express. En la grafica 2.5.1 podemos ver como se comparan cada uno de los buses de acuerdo a su velocidad, es importante entender que cada uno de los buses satisface una necesidad diferente dependiendo de la aplicación. Hi-Speed USB (USB 2.0 de alta velocidad) es en la actualidad un bus muy rápido con velocidades de 480 Mbps y su conveniencia y facilidad de uso lo han hecho ideal para aplicaciones de investigación y diseño portátiles en el laboratorio, además que lentamente ha crecido su adopción en la industria de pruebas y control.

Por otro lado Ethernet es ampliamente utilizado para aplicaciones en plantas que requieren de entradas y salidas distribuidas y necesitan integrarse a sistemas empresariales. Otra alternativa, PCI y PXI Express, ofrece modularidad, un mayor ancho de banda y excelentes características de control de sincronización, lo que hace estos buses idóneos para instrumentación de alta velocidad o aplicaciones de visión artificial.

2.5.2 TECNOLOGÍA 2: COMPONENTES ELECTRÓNICOS AVANZADOS.

Al aprovechar los componentes electrónicos comerciales, como aisladores digitales o analógicos, los fabricantes pueden dar confiabilidad a sus sistemas y resolver las necesidades de la seguridad para el usuario. Mediante el uso de convertidores A/D comerciales, pueden incluir diferentes tipos de señales en un solo sistema. El aislamiento forma un factor crítico en los sistemas de medición, especialmente cuando se está próximo a voltajes peligrosos en ambientes ruidosos o industriales con la posibilidad de picos de voltaje, o en instalaciones donde haya peligro que las referencias de tierra estén flotadas. Con la tecnología actual, los fabricantes de dispositivos de medición pueden implementar acoplamiento de tipo óptico, capacitivo o inductivo. Con acoplamiento inductivo es posible tener un transformador en un chip en tamaños de 3 décimas de milímetro. Al incluir esta tecnología de los productos de adquisición de datos, ha permitido a algunos fabricantes tener en su portafolio de productos soluciones de tamaño compacto, bajo consumo de energía, y por lo mismo, más económicos. Un convertidor A/D es el componente electrónico que convierte una señal analógica en una serie de valores digitales que un procesador puede entender. Tradicionalmente estos componentes eran la parte, más costosa en un dispositivo de adquisición de datos. A lo largo de los últimos 15 años, los precios de estos A/D han bajado drásticamente, lo que permite a los fabricantes implementar nuevas arquitecturas en sus sistemas de medición. Por ejemplo, la tecnología de los DMMs, diseñada originalmente en la década de los 70s y 80s, consiste en un único A/D y varios reles electromagnéticos a la entrada que conmutan entre las diferentes señales. Sin embargo, estos reles son relativamente lentos y tienden a desgastarse con el tiempo. Al aprovechar los costos de los componentes electrónicos, ahora los fabricantes pueden implementar nuevas arquitecturas que cuentan con múltiples A/Ds en el mismo sistema de medición. Como consecuencia de esto, dentro de un solo sistema se cuenta con subsistemas para mediciones

de alta velocidad, como aceleración o sonido, y subsistemas para mediciones de alta precisión, como temperatura de termopares.

2.5.3 TECNOLOGÍA 3: ARQUITECTURA FLEXIBLE DE HARDWARE.

Debido a que en ocasiones los requerimientos de un sistema de medición tienden a evolucionar a través del tiempo o los usuarios no están seguros de cual será la siguiente aplicación, se requiere de un sistema que no solo satisfaga sus necesidades actuales, pero que además sea capaz de ajustarse a las futuras. Esta flexibilidad esta dada al ofrecer un sistema modular que sea capaz de crecer y adaptarse con el tiempo, de tal forma que el usuario final solo necesite adquirir los módulos requeridos para la aplicación actual y, conforme sea necesario, adquirir mas módulos para aumentar el numero de señales a medir.

Durante el proceso de instalación de un sistema de medición, una buena porción del tiempo se invierte en cableado y conexión de los sensores. Es muy común que se tenga que cablear a través de un panel de conexión, ya que los sistemas de medición en ocasiones solo ofrecen terminales de tipo tornillo como interfaz al sensor. Para reducir este trabajo, los fabricantes ahora están ofreciendo mejores opciones al incorporar la conexión a los sensores directamente a los dispositivos de medición.

2.5.4 TECNOLOGÍA 4: SOFTWARE PODEROSO [3]

En un sistema de medición, no solo es importante leer la señal a través del hardware si no además interpretarlas y analizarlas. La aplicación final tal vez requiere tener el registro histórico del comportamiento de una variable del proceso (por ejemplo temperatura), o realizar análisis matemático de una señal (como un análisis de frecuencia para aplicaciones de mantenimiento predictivo). La manera más sencilla de automatizar esta parte del proceso de adquisición de datos es a través de software. El software es una parte clave en el sistema de medición, ya

que es la herramienta que permite interpretar y extraer información valiosa de los datos obtenidos.

Dependiendo de las diferentes necesidades del usuario final, existen diferentes opciones de software disponibles en el mercado como plataformas para adquisición y análisis: desde herramientas basadas en ventanas de configuración, a programación basada en texto, a programación grafica. Al final, la selección será en base a la flexibilidad y facilidad de uso requerida. Como se puede apreciar, el mundo de la adquisición de datos es muy complejo: no solo los sistemas a medir se han vuelto mas elaborados, pero los usuarios finales están solicitando cada vez mas canales y señales. Al aprovechar aquellas tecnologías que están comercialmente disponibles a aplicar su conocimiento vertical a la industria, los fabricantes de instrumentos ahora cuentan con herramientas necesarias para brindarles soluciones flexibles y poderosas a sus clientes.

2.6 COMPONENTES DE UN SISTEMA SCADA [14]

A grandes rasgos un sistema SCADA (Diagrama 2.6.1) recoge información a través de una red de sensores distribuidos, datos que sirven para crear una representación visual para que los operadores evalúen el estado del proceso y decidan si es necesario tomar algún tipo de acción, que es trasladada de nuevo a las RTU en forma de comandos de control.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

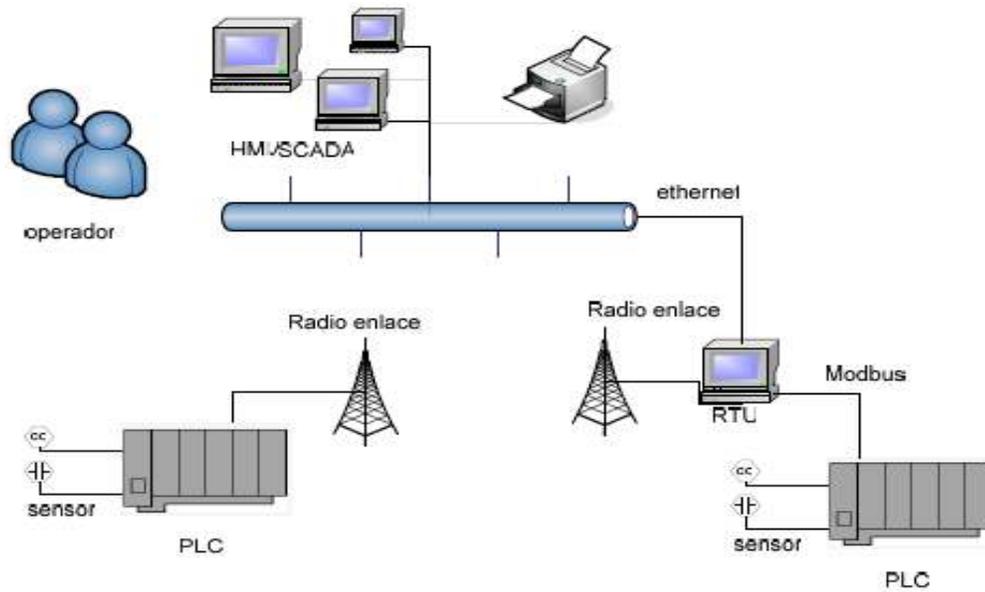


Diagrama 2.6.1 Componentes de un sistema SCADA

Se menciona a continuación los componentes típicos de una instalación SCADA, en función de su cercanía a los sistemas físicos sobre los que actúan:

- 🌐 Los **periféricos de adquisición** convierten las mediciones de los sensores en información digital y actúan sobre los sistemas utilizando la lógica programada (PLC) figura 2.6.2.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW



Figura 2.6.2 Ejemplo de Programa de Instrumentación Virtual Intellution utilizando la lógica programable PLC.

- ④ Los **terminales remotos** (RTU) facilitan la conexión de los periféricos de adquisición a la red que interconecta los distintos elementos.

- ④ Los **sistemas de comunicación** ofrecen el canal de comunicación entre el sistema central (HMI) y los terminales remotos (RTU), empleando para ello tecnologías tan dispares como líneas punto a punto, conexiones vía satélite o radio, redes Ethernet, Internet, etc.

- ④ Los **protocolos** usados en los sistemas de comunicación SCADA están diseñados para ser eficientes y fiables. Existen una gran variedad de protocolos tanto propietarios (Modbus, Fieldbus) como abiertos (DNP3, IEC 60870-5) y todos ponen encima la funcionalidad antes que la seguridad (un elemento que la mayoría de veces ni se contempla en el protocolo).

- ④ **El sistema central** es el encargado de recolectar la información de cada uno de los terminales remotos (RTU). Esta información es procesada y analizada, siendo presentada al operador en una interfaz visual de fácil manejo (HMI – Human Machine Interface) que le permite tomar decisiones y modificar parámetros del proceso.

- ④ **Computadora, Ordenador, PC o Personal Computer:** En la PC se va a llevar a cabo todo el Procesamiento de la Información, la cual una vez adquirida puede ser exhibida en tiempo real, guardada en algún formato de intercambio en un archivo, transmitida a través de una LAN (Local Área NetWork) o a través de Internet. La información adquirida puede ser analizada ejecutando en la PC algún cálculo complejo previo como Integral, derivada, transformada de Fourier, estadísticas, etc.

- ④ **Software de Adquisición:** Este elemento corresponde al lenguaje a usar, en el cual se programará o configurará el software que realizará la funcionalidad deseada por el Sistema de Adquisición de Datos (figura2.6.3). Normalmente hay dos o más niveles de Software. Como mínimo, si son dos los niveles de Software, tendremos un driver o Software de Bajo Nivel que comunica la Tarjeta de Adquisición de Datos con el Sistema Operativo de la PC y un Lenguaje de Desarrollo generalmente Gráfico o Utilitario también llamado Software de Alto Nivel donde se programará o configurará la aplicación final con la que interactuará el operador al hacer los ensayos o mediciones.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

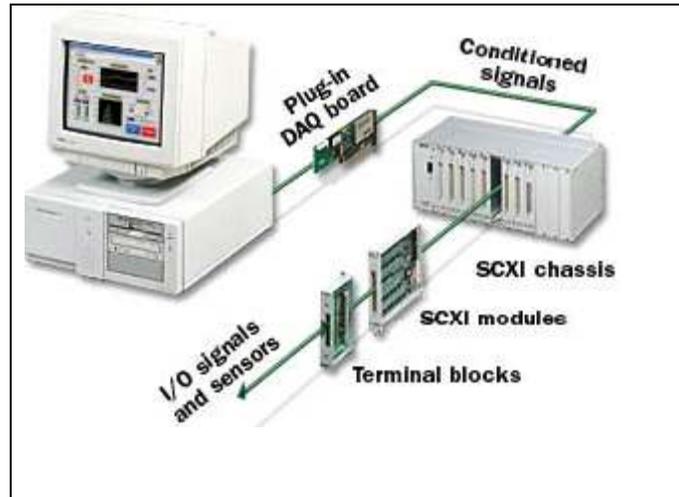


Figura 2.6.3 Componentes de un sistema de Adquisición de datos, basado en tarjetas DAQ insertas en la PC

- ④ **Bus de conexión o puerto de conexión:** Este elemento tiene por función conectar la PC con el adquirente de datos, encontrándose variantes como el bus PCI, ISA, PCMCIA, puerto serial, puerto paralelo, puerto GPIB, USB, Ethernet, etc.
- ④ **Adquisidor de Datos:** Este elemento (figura 2.6.4) es el que toma los datos del acondicionador y hace la conversión análoga digital de la información. Hay que tener en cuenta que puede ser un elemento Interno o Externo a la PC. Cabe aclarar en este punto, que el enlace entre la PC y el elemento Adquisidor de Datos no tiene que ser permanente, puede haber momentos durante los cuales esté conectada y otros no. Cuando esté conectada, la PC descargará del adquirente todos los datos que éste ha almacenado.

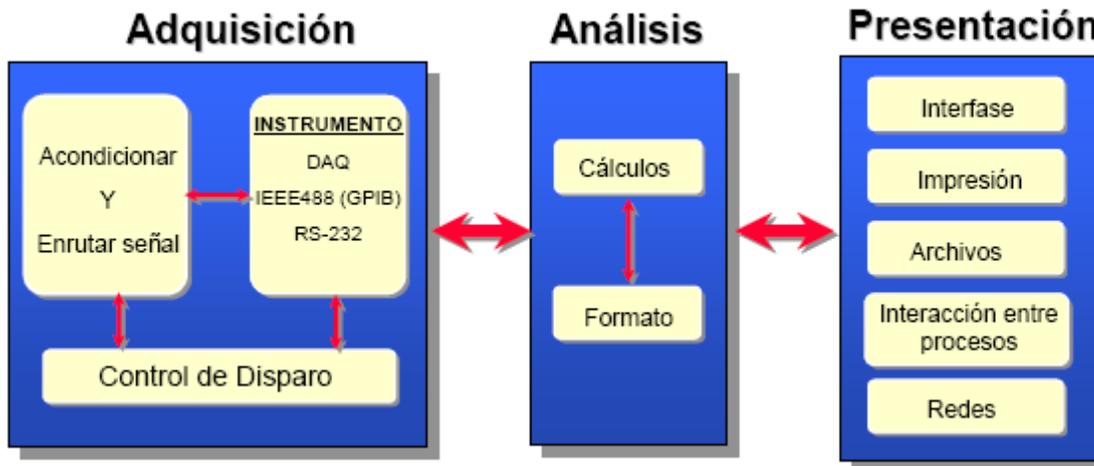


Figura 2.6.4 Elementos de un sistema de adquisición de datos

- 🌐 **Acondicionador de Señal:** La misión del acondicionador es adaptar la señal que se recibe del sensor, amplificándola, linealizándola, filtrándola, etc. También puede alimentar el sensor si éste requiere alimentación como en el caso de los RTDs.
- 🌐 **Sensores:** El sensor va a convertir un parámetro físico, como temperatura, presión, fuerza, luz, desplazamiento, etc. en un fenómeno eléctrico, capaz de ser medido o mensurado.

2.7 TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, ésta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico, o radio. En cualquiera de los casos se requiere un MODEM, el cual modula y demodula la señal. Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación. Debido a que la información que se transmite sobre un sistema SCADA debería ser pequeño generalmente la velocidad de transmisión de los modem suele ser pequeño. Muchas veces 300bps (bits de información por segundo) es suficiente.

Pocos sistemas SCADA, excepto en aplicaciones eléctricas, suelen sobrepasar los 2400bps, esto permite que se puedan usar las líneas telefónicas convencionales, al no superar el ancho de banda físico del cable.

2.7.1 COMUNICACIONES

En una comunicación deben existir tres elementos necesariamente:

- ① Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes
- ① Un equipo emisor que puede ser el MTU
- ① Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU's.

En telecomunicaciones, el MTU y el RTU son también llamados “Equipos terminales de datos” (*DTE, Data Terminal Equipments*). Cada uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación.

La figura 2.7.1 muestra la conexión de los equipos con las interfaces para el medio de comunicación. Los modems, llamados también “Equipo de Comunicación de Datos” (*DCE, Data Communication Equipment*), son capaces de recibir la información de los DTE's, hacer los cambios necesarios en la forma de la información, y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE.

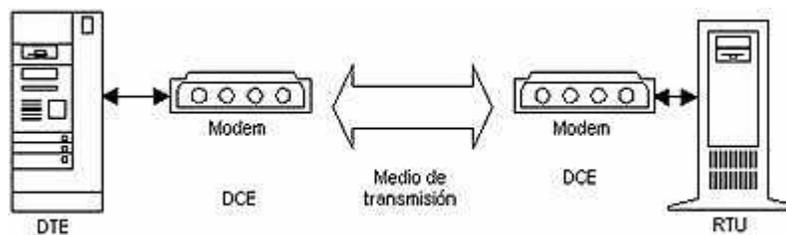


Figura 2.7.1: Esquema de conexión de equipos e interfaces de comunicación.

2.8 DISPOSITIVOS DE CAMPO Y CABLEADO

Los dispositivos de campo con los que se dispone en un sistema SCADA son de diversos tipos y en cada uno de ellos existen parámetros de selección, desde el rango de trabajo, precisión, dimensiones, precio, etc., los cuales hacen que cada sistema sea un caso particular aunque todos ellos tienen siempre características comunes.

Un detalle que a veces no se toma en cuenta es que los sensores actuadores y el cableado entre ellos también cuestan, generalmente cuestan tres o cuatro veces más que el RTU mismo, UPS, y equipos de comunicaciones para un lugar determinado.

Otro punto importante es que un sensor cuya lectura puede ser leída directamente por el operador humano, generalmente cuesta menos que un sensor cuya lectura debe ser leída por un RTU, esto es sencillamente por el sistema de acondicionamiento que debe ser usado.

Aún más, un costo adicional debe ser incorporado por el cableado de los equipos hacia el RTU. Alambre de cobre es usado generalmente, por que las señales son generalmente de bajo voltaje. En muchas aplicaciones, un blindaje debe ser adicionado sobre el hilo de cobre para prevenir interferencia electromagnética o ruido sobre la señal. Esto generalmente se manifiesta como un recubrimiento de PVC flexible sobre los conductores.

2.8.1 REDES INDUSTRIALES

- 🌐 **Nivel de bus de campo.** Nivel de red más próximo al proceso y se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas

compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, equipos de medida, etc.). Suelen formar células de fabricación.

- 🌐 **Nivel de LAN.** Nivel superior al anterior que enlaza las células de fabricación. Esta formado por autómatas de gama alta y ordenadores para control de calidad.
- 🌐 **Nivel de LAN/WAN.** Nivel más próximo al área de gestión, que integra los niveles anteriores en una estructura de fábrica o múltiples factores. Está formado por ordenadores y redes de ordenadores.

2.8.2 BUS DE CAMPO

El bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Los buses de campo más recientes permiten la comunicación con buses jerárquicamente superiores y más potentes.

Hay diversos buses según fabricantes y agrupaciones de fabricantes, siendo los más extendidos los siguientes:

- 🌐 **Modbus Modicon:** marca registrada de GOULD INC. Define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ninguna normal internacional. [3]
- 🌐 **BITBUS:** marca registrada por Intel. De bajo costo y altas prestaciones. Intel cedió a dominio público el estándar, por lo que se considera un estándar abierto. Está reconocido por la normativa IEEE 1118. Se trata de un bus síncrono, cuyo protocolo se gestiona completamente mediante el microcontrolador 8044.
- 🌐 **Profibus:** impulsado por los principales fabricantes alemanes. El protocolo es un subjuego de MINIMAP. Está impulsado por ser un estándar abierto y bajo norma DIN 19.245.

- 🌐 **S-BUS:** no es un bus de campo propiamente dicho, sino un sistema multiplexor/demultiplexor que permite la conexión de E/S remotas a través de dos pares trenzados.
- 🌐 **FIP** (Factory Instrumentation Bus): impulsado por fabricantes y organismos oficiales franceses.
- 🌐 **MIL-STD-1553B:** adoptado por algunos fabricantes en USA.

2.9 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS SCADA

Históricamente los sistemas SCADA se han basado en entornos cerrados construidos alrededor de protocolos y sistemas propietarios; se han declarado sistemas seguros porque estaban aislados y porque se diseñaban a medida y muy poca gente conocía como funcionaban.

La siempre omnipresente reducción de gastos ha provocado que paulatinamente se hayan ido estandarizando los protocolos y plataformas SCADA para facilitar la interoperabilidad, lo que ha llevado a la mayoría de fabricantes a migrar hacia redes TCP/IP y plataformas PC, intentando reaprovechar al máximo la infraestructura existente.

Así, por un lado, SCADA ha dejado de ser un sistema desconocido y la excusa de la “seguridad a través de la oscuridad” ya no sirve: cualquiera pueda adquirir el conocimiento sobre su funcionamiento y aplicar técnicas de explotación tradicional de estas plataformas abiertas: hardware y software con vulnerabilidades conocidas, etc.

Por otro lado aunque en muchos entornos sigue existiendo la sensación de que la red SCADA es una red “cerrada” la realidad indica que cada vez tiene más interconexiones, tanto por necesidades de negocio (sistemas de gestión, ERP,

toma de decisiones, etc.) como para reducir gastos (unificación red de control con red de usuarios, mantenimiento remoto, etc.).

En definitiva, se han ido eliminando aquellos puntos que hacían de SCADA un sistema único e independiente, las bases sobre las que se construyen los conceptos de seguridad en SCADA.

2.10 VULNERABILIDADES INHERENTES A SCADA

En los siguientes apartados discutiremos algunas de las vulnerabilidades únicas que, por sus características, presentan los sistemas SCADA.

2.10.1 DIFICULTAD PARA REPARAR VULNERABILIDADES

Los sistemas SCADA dan soporte en la mayoría de ocasiones a sistemas críticos, que deben funcionar ininterrumpidamente durante años. Si es prácticamente imposible detener un sistema para realizar mantenimiento, es mucho más difícil detenerlo periódicamente para realizar actualizaciones que, si ya son difíciles en los sistemas de soporte (plataformas UNIX, HMI, etc.) se convierten en virtualmente imposibles sobre entornos embebidos (RTU, PLC, etc.).

2.10.2 FUNCIONALIDAD RESPECTO A SEGURIDAD

El diseño de los sistemas SCADA prima la fiabilidad y la alta disponibilidad por encima del resto de factores, se trata de sistemas críticos de los que depende el éxito del proceso controlado.

Esto se traslada a todos los niveles de un sistema SCADA: comunicaciones sin cifrar entre cualquier dispositivo (HMI, RTU, PLC...), almacenamiento de datos

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

críticos en texto plano (contraseñas, direcciones IP...), posibilidad de acceso y modificación de la funcionalidad de los PLC, etc.

La introducción de componentes de seguridad como el cifrado, la autenticación o los registros de seguridad requiere recursos adicionales de memoria y CPU que pueden no estar disponibles en los sistemas embebidos con los que trabajamos. Por otro lado estas medidas de seguridad pueden potencialmente afectar a la disponibilidad de los sistemas.

Un ejemplo claro es la autenticación de los operarios: el sistema SCADA (diagrama 2.10.2.1) exige una disponibilidad absoluta hacia los supervisores, de forma que se ha eliminado la necesidad de autenticación o, como mucho, los operarios comparten credenciales de acceso.

Otro ejemplo que normalmente sale a relucir durante el análisis forense posterior a un incidente o ataque es la falta de registros de acceso o eventos en los dispositivos de los sistemas SCADA. Algunos de los controles de seguridad empleados en otro tipo de entornos no son directamente trasladables a los sistemas SCADA.

Una de las herramientas favoritas de los equipos de seguridad, el “escáner de puertos” se convierte en nuestro peor enemigo si hablamos de redes SCADA: sistemas operativos de hace 15 años, PLC con implementaciones de funcionalidades de red básicas o no estándar, etc. Componentes que no están diseñados para lo imprevisto y que sucumbirán a un procedimiento “normal” de auditoría de seguridad.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Así pues, es necesario innovar y desarrollar metodologías “no agresivas” para la revisión de seguridad de sistemas SCADA, basándose en la investigación controlada en laboratorio junto a un esmerado análisis de riesgos del entorno real.

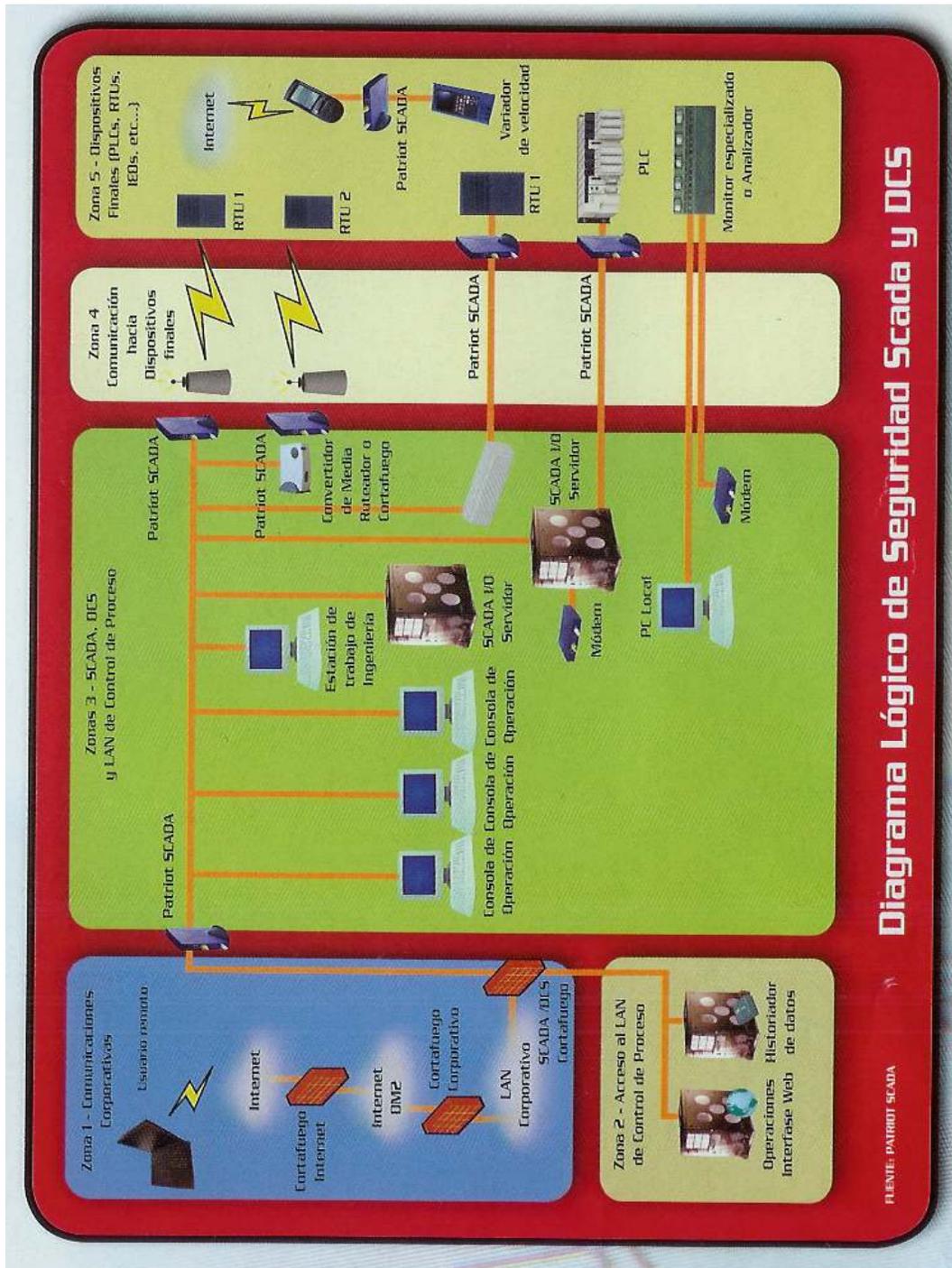


Diagrama 2.10.2.1 Sistema lógico de Seguridad SCADA y DCS [2]

2.10.3 CONFIANZA INFUNDADA

Tal como hemos comentado anteriormente la seguridad de los sistemas SCADA se ha basado históricamente en la confianza que ofrecía una red aislada y cerrada. La confianza en la red se ha trasladado también a los usuarios, a los que siempre se tendrá bien identificados ya que se contaba un grupo reducido de personas con acceso a la red de control. Ahora, al tener numerosas interconexiones o reaprovechar otras redes existentes para controlar los componentes SCADA, probablemente no conocemos qué usuarios tienen visibilidad de la red de control, con lo que la amenaza “interna” cobra una nueva dimensión.

Parece que, como confiamos ciegamente en la seguridad de SCADA, no hace falta dotar de seguridad a ninguno de sus componentes:

- 🌐 Comunicaciones en texto plano sobre redes públicas (Internet, WiFi...)
- 🌐 Desarrollo de código funcional, pero poco seguro (overflows, etc)
- 🌐 Autenticación de personas y componentes
- 🌐 Externalización del mantenimiento, etc.

Esta confianza se extiende a los distintos ámbitos que conforman el mundo de SCADA: fabricantes, integradores, desarrolladores... basando toda la seguridad en una confianza que se asienta sobre premisas defasadas, escudándose en lo inexistente, impidiendo de esta forma que se perciban las amenazas lo cual, en sistemas que controlan infraestructuras críticas da mucho que pensar.

2.11 TIPOLOGIA DE ATAQUES A SISTEMAS SCADA [14]

Sin duda la mayoría de incidentes reportados actualmente provienen de fuentes internas; la falta de autenticación y la escasa separación de roles provoca que, muchas veces, un usuario tenga acceso a funcionalidades críticas que no

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

necesariamente comprende gracias al principal objetivo de los HMI, permitir una interacción con el sistema sin necesidad de ser un especialista.

Esta visibilidad total, unida a la falta de controles de autenticación y auditoría facilita los errores humanos además de hacer mucho más cómodas y sencillas las tareas de un atacante que quiere comprometer el sistema – comprometer la unidad central o los HMI le permiten tener una visión a alto nivel del proceso en el que quiere causar daños.

Por otro lado existe una gran cantidad de información disponible públicamente acerca de los componentes de la infraestructura SCADA (protocolos, unidades remotas, etc.) que permiten a un atacante convertirse en un experto SCADA para poder descubrir y explotar nuevos tipos de vulnerabilidades a más bajo nivel. Fabricantes e integradores, con la colaboración del cliente, suelen publicar detalles sobre proyectos de implantación exitosos, dejando a disposición pública datos de configuración y funcionamiento de carácter sensible y ciertamente interesante para un atacante.

Algunos de los componentes de la infraestructura SCADA, como los RTU o los PLC, suelen estar ubicados remotamente, físicamente aislados y situados a miles de kilómetros de la Unidad Central (en el caso del control de suministro en el segmento de las utilidades). Ganar acceso físico a las instalaciones que albergan estos dispositivos remotos suele ser trivial y, si bien físicamente se encuentran lejos de la unidad central, a nivel lógico tienen conectividad con el sistema SCADA (y potencialmente con la red interna, los ERP, etc.), ofreciendo al atacante un punto de entrada a una red aparentemente aislada.

El medio por el que estas ubicaciones remotas se comunican con el resto de la infraestructura SCADA puede representar un problema de seguridad adicional: packet radio, VSAT, WiFi, etc. – mecanismos de transmisión sin hilos que, sin una

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

capa adicional de cifrado, pueden comprometer la confidencialidad de las comunicaciones. Con el paso del tiempo, los sistemas SCADA han evolucionado hacia plataformas comerciales y protocolos abiertos (Windows, TCP/IP, etc.), con lo que hay que añadir a las vulnerabilidades inherentes a SCADA los tipos de ataques tradicionales para estas plataformas (gusanos, vulnerabilidades en software comercial, etc).

*SENSORES Y
ACONDICIONADORES DE
SEÑAL*

CAPÍTULO III



3.1 HISTORIA DE LOS SENSORES

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores (figura 3.1.1) existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas.

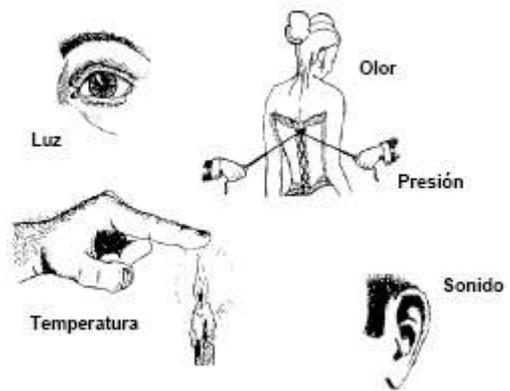


Figura 3.1.1 Sensores Humanos

3.2 SENSORES ELECTRÓNICOS [16]

Los sensores electrónicos han ayudado no sólo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas. Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya que normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas.

Este capítulo pretende hacer una recopilación de los sensores, acondicionadores y procesadores actuales, así como su evolución. Hay que remarcar que dicha recopilación se ha centrado en los productos que distribuye SILICA. Por supuesto, la rápida evolución de estos componentes hace que este

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

trabajo nunca esté al día ni terminado, por lo que hay que consultar en cada momento el estado actual de los mismos.

3.3 TIPOS DE SENSORES

Existe una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

- Temperatura
- Humedad
- Presión
- Posición
- Movimiento
- Caudal
- Luz (ver figura 3.3.1)
- Imagen
- Corriente
- Conductividad
- Resistividad
- Biométricos
- Acústicos
- Imagen
- Aceleración
- Velocidad
- Inclinación
- Químicos
- ...



Figura 3.3.1 Magnitud física como la luz

3.4 TERMINOLOGÍA

En general se habla de sensores, pero se pueden distinguir las siguientes definiciones:

- 🌐 **Sensor:** Es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica. Además los sensores pueden ser *activos* o *pasivos*.

- 🌐 **Sensor activo:** Es un sensor que requiere una fuente externa de excitación como las RTD o Células de carga.

- 🌐 **Sensor pasivo:** Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos.

- 🌐 **Transductor:** Es un convertidor de un tipo de energía a otra.

3.5 SENSORES DE TEMPERATURA

3.5.1 INTRODUCCIÓN

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetalica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

3.5.2 TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA

Termopares: Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico, debido a sus distintos comportamientos eléctricos.

Resistivos: Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Termal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Termal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo.

Semiconductores: Se basan en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente.

3.5.2.1 SENSORES DE TEMPERATURA CON TERMOPARES

Los termopares son baratos y robustos, tienen una estabilidad bastante buena a lo largo del tiempo. Debido a su pequeño tamaño, responden rápidamente a los cambios de temperatura. Funcionan sobre rangos de temperatura criogénos, tiene una linealidad y exactitud razonable. Debido a que el número de electrones libres en un metal depende de la temperatura y de la composición del metal,

dos metales de desigual isoterma, dan una diferencia de potencial que es una función repetible de la temperatura, como se muestra en la figura 3.5.2.1.1. El voltaje resultante depende de las temperaturas, T1 y T2, de una manera repetible.

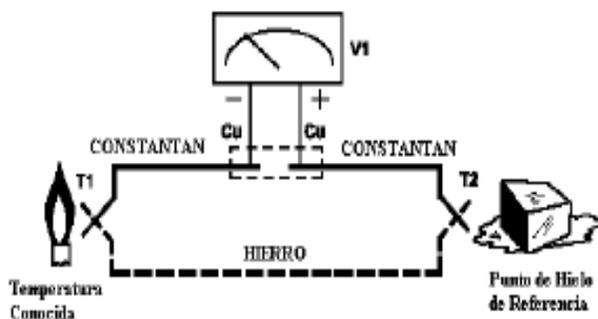


Figura 3.5.2.1.1 Voltaje del termopar con Referencia a 0° C.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Puesto que el termopar es básicamente un dispositivo de medida diferencial, se necesita una temperatura de referencia conocida para una de las uniones, así la temperatura de la otra unión será deducida del voltaje de salida. Los termopares están fabricados de materiales especialmente seleccionados que se han caracterizado exhaustivamente en términos de voltaje con la temperatura de comparación, que normalmente es la del punto de agua/hielo de 0°C.

De todas maneras, se usa una técnica de medida alternativa mostrada en la figura 3.5.2.1.2 siguiente, en las aplicaciones prácticas donde los requisitos de exactitud

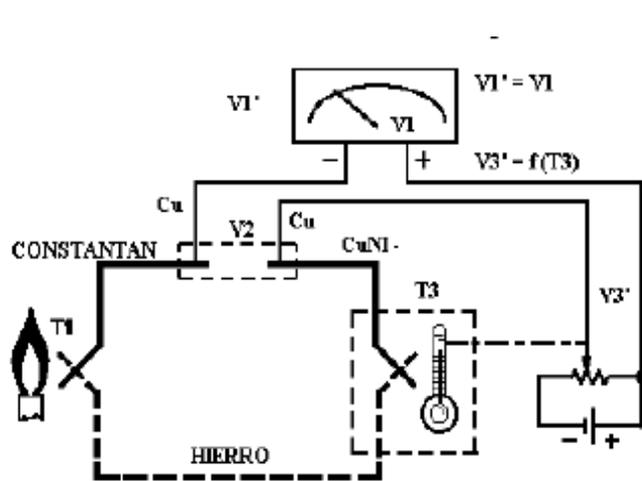


Figura 3.5.2.1.2

no necesitan mantener las normas primeras. La temperatura de la unión de referencia se permite cambiar con el entorno del sistema de medida, pero es medida cuidadosamente por algún tipo de termómetro absoluto. Se puede usar una medida del voltaje del termopar combinada

con una temperatura de referencia conocida para calcular la temperatura de la unión medida. Sin embargo, en la práctica se usa un método termoeléctrico para medir la temperatura de referencia y poner el voltaje de salida para que corresponda a un termopar referido a 0°C. Simplemente, este voltaje se añade al voltaje del termopar y entonces la suma corresponde al voltaje normal tabulado para un termopar de referencia de punto de hielo.

3.5.2.2 SUBSTITUCIÓN DE LA TEMPERATURA DE REFERENCIA PARA REFERENCIA DEL PUNTO DE HIELO.

En la tabla 3.5.2.2.1 se muestran los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

Material de la unión	Rango Típico (°C)	Sensibilidad (uV/°C)	Designación
Pt6%/Rodio – Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio–Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo- Constantan	0 a 982	76	E
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	45	T

Tabla 3.5.2.2.1 Rangos de diferentes tipos de termopares.

En la figura 3.5.2.2.1 siguiente se muestra la curva de algunos termopares con sus características eléctricas.

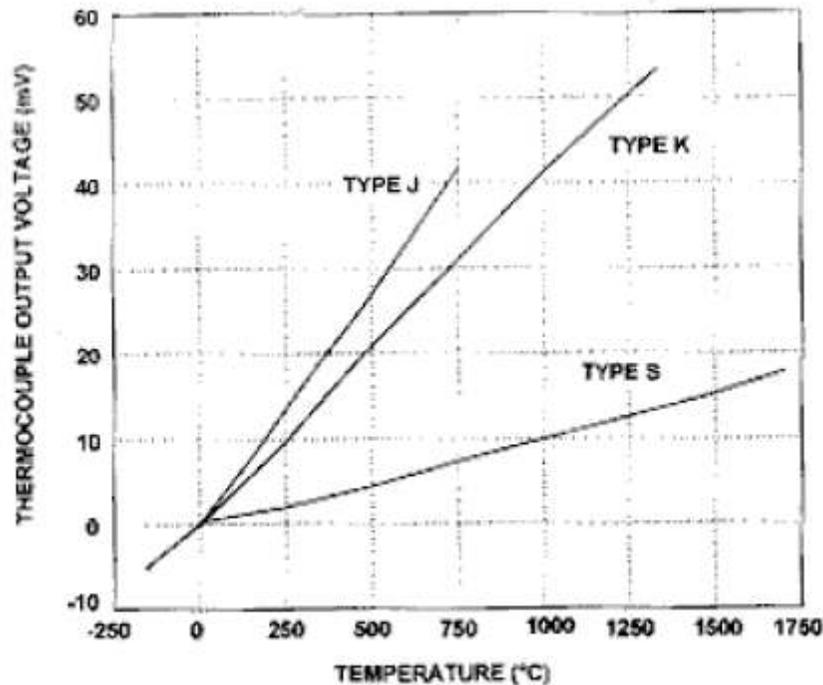


Figura 3.5.2.2.1 Gráfica de termopares tipo J, K, S

El hecho de que los termopares sean dispositivos de bajo nivel de tensión, a la vez que de baja impedancia, hace que el acondicionador de señal sea totalmente imprescindible. Además, la linealidad en algunos tipos es pobre, aunque el hecho de ser predecible y repetible, permite que puedan ser compensados analógicamente y/o digitalmente.

3.5.3 ACONDICIONADORES DE SEÑAL PARA TERMOPARES. AD594

Analog Devices dispone de unos circuitos integrados acondicionadores de señal para termopares, como el AD594, mostrado en la figura 3.5.3.1, para termopares tipo J que tienen un amplificador de instrumentación y un compensador lineal, una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V y suministra una salida de 10mV/°C.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

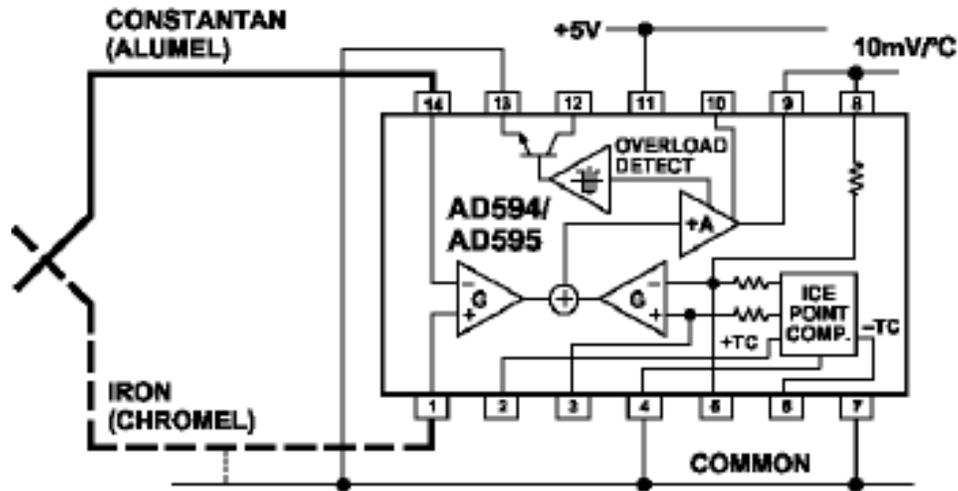


Figura 3.5.3.1 Diagrama de un acondicionador de termopares tipo J [12]

3.5.3.1 ACONDICIONADOR DE SEÑAL DE UN TERMOPAR

Analog Devices con la división denominada *Isolation* tiene una serie de acondicionadores de señal en forma de módulos híbridos y en concreto para termopares tiene el módulo 1B51 (figura 3.5.3.1.1) aislado para aplicaciones industriales, donde brindan una solución completa.

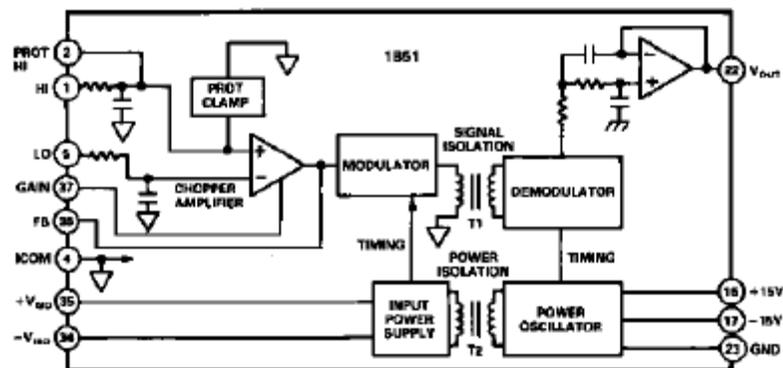


Figura 3.5.3.1.1 Acondicionador de termopar con el módulo 1B51 de Analog Devices

3.6 SENSORES DE TEMPERATURA CON ELEMENTOS RESISTIVOS

3.6.1 RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR)

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también RTD, aunque también se utilizan otros materiales cuyas características se recogen en la tabla siguiente. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y $20k\Omega$. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre -200°C y 850°C .

Material	Rango de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Coefficiente de variacion ($\%/^{\circ}\text{C}$ a 25°C)
Platino	-200 a + 850	0.39
Niquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a +260	0.38
Niquel-Acero	-200 a +260	0.46

Tabla 3.6.1.1 Muestra los rangos de temperaturas de diferentes materiales.

La gráfica 3.6.1.1 muestra la respuesta de la resistencia de la RTD con la temperatura y la comparativa respecto a un Termopar tipo S.

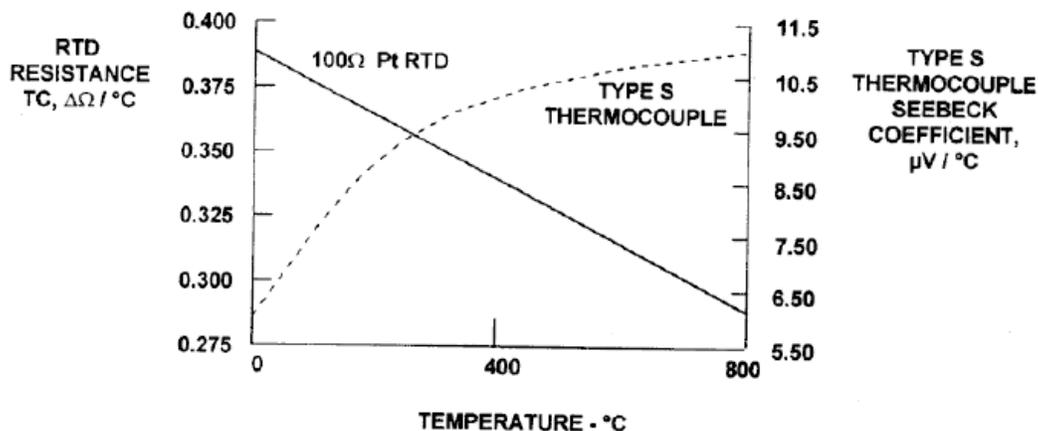


Figura 3.6.1.1 Gráfica de Temperatura de un RTD

3.6.2 TERMISTORES

Otros sensores resistivos mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son mucho más sensibles, pueden tener un coeficiente de temperatura positivo o negativo, estos últimos son los más usados y se denominan NTC.

3.6.3 SENSORES DE TEMPERATURA CON SEMICONDUCTORES

Como anteriormente se ha mencionado, la corriente de conducción de una unión **p-n** polarizada directamente, responde exponencialmente con la tensión de forma directa, e inversa con la temperatura. Si se recuerda la ecuación característica de funcionamiento de un diodo.

$$I = I_{sat} \times e^{q/kT \cdot V}$$

Donde:

q = carga del electrón,

k = constante de Boltzmann,

T = temperatura

I_{sat} = corriente de saturación

De esta ecuación se desprende que, a una corriente constante, la tensión varía a razón de -2.2 mV por cada grado centígrado (°C). Considerando el diodo formado por la unión base-emisor de un transistor bipolar.

Pero además de la variación con T, mantiene una fuerte dependencia de **I_{sat}**

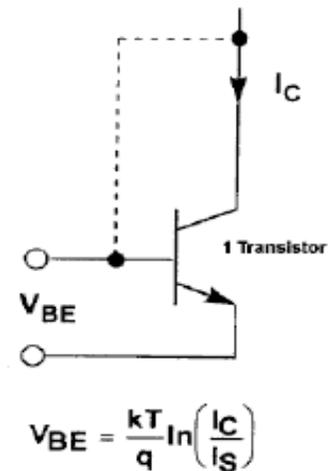
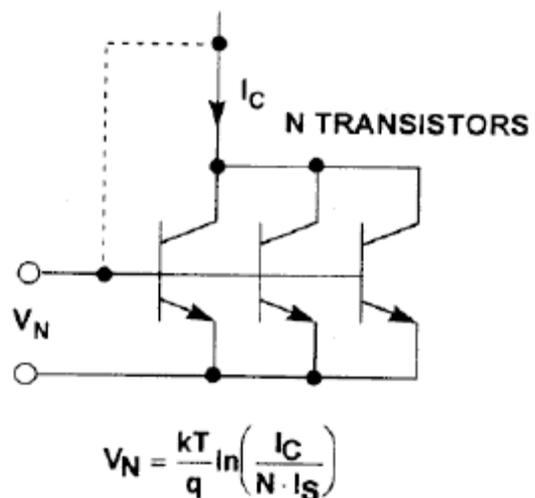


Figura 3.6.3.1 Diagrama de un transistor PNP



$$V_N = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_C}{N \cdot I_{sat}} \right)$$

con la temperatura, lo que hace que no sea directamente utilizable debido a la compleja forma de dependencia con la temperatura. Si se toman N transistores idénticos al primero sobre los que se reparte igualmente la misma corriente I_c .

- $\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln(N)$
- INDEPENDENT OF I_c, I_s

Si se toma la tensión de diferencia entre ambos conjuntos, se tendrá una tensión proporcional a la temperatura absoluta pero sin tener dependencia alguna con I_{sat} .

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{N \cdot I_s}\right)$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \left[\ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) - \ln\left(\frac{I_c}{N \cdot I_s}\right) \right]$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{\left(\frac{I_c}{I_s}\right)}{\left(\frac{I_c}{N \cdot I_s}\right)} \right] = \frac{kT}{q} \ln(N)$$

De esta manera, puede construirse un circuito conteniendo N+1 transistores NPN ver (figura 3.6.3.2), un espejo de corriente PNP y una resistencia estable con la temperatura, como se muestra en la figura anterior, cuya corriente será proporcional a la temperatura absoluta, como lo será igualmente la caída de tensión sobre la resistencia R (que representa la diferencia entre V y V_n de las ecuaciones anteriores).

3.6.4 SENSORES DE TEMPERATURA CON SALIDA EN CORRIENTE

El circuito descrito en la figura anterior es la base del sensor de temperatura “band-gap”, en el que se apoyan dispositivos tales como el AD590, AD592 y AD2626 de *Analog Devices*, que son dispositivos de dos terminales cuya corriente

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

eléctrica o incluso emisiones de radio (y ser “rectificadas” por el propio sensor que se comporta como una fuente de corriente de alta impedancia).

Para reducir todas estas influencias externas, una buena solución puede ser el empleo de cables trenzados, con lo que se eliminan los ruidos en modo diferencial o el uso de cable apantallado. Pero el apantallamiento, para que sea efectivo, debe hacerse de tal manera que no permita añadir efectos indeseados, debido a las tensiones generadas en los bucles de masa. Por regla general, las pantallas sólo deben conectarse a masa en uno de los extremos.

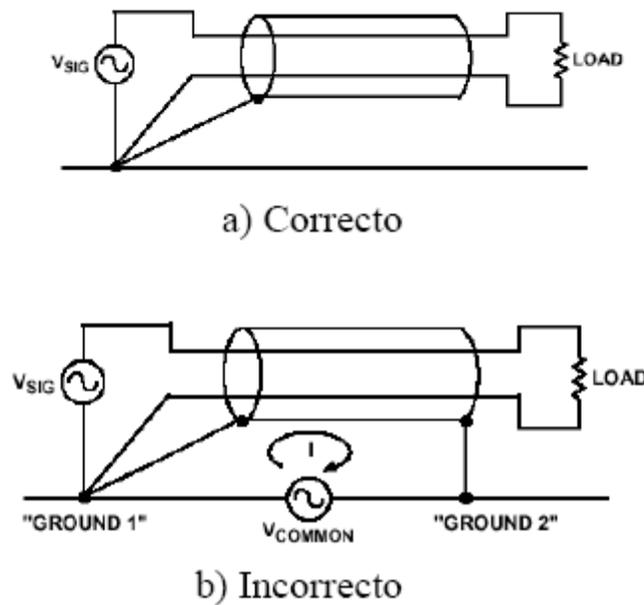


Figura 3.6.4.2 Formas de conectar la tierra en un cable apantallado.

3.6.5 SENSORES DE TEMPERATURA CON SALIDA EN TENSIÓN

El sensor más elemental que entrega directamente una tensión proporcional a la temperatura es el TMP35 de *Analog Devices* (figura 3.6.5.1), que puede funcionar a 3V e incorporan el terminal “shutdown” para dejar el dispositivo en muy bajo consumo. No necesita calibración o ajuste externo asegurando una precisión mejor que 1°C en todo el rango completo de trabajo. Su bajo consumo (menor que 150µA) elimina los efectos indeseados debido al autocalentamiento, que puede cuantificarse menor que 0.1°C sobre la temperatura ambiente. La salida es directamente 10mV por grado, es decir, 100 mV corresponde a una temperatura de 10°C y 1000mV corresponde a 100°C.

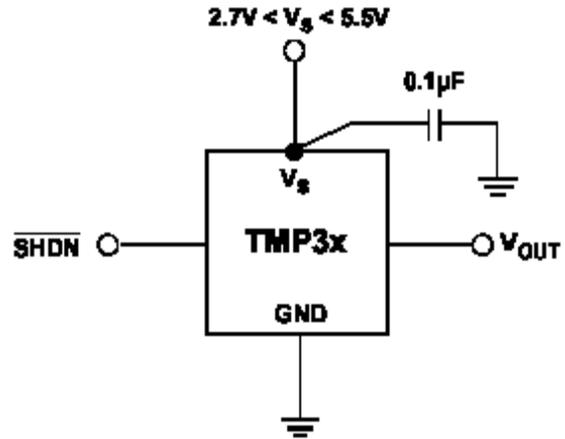


Figura 3.6.5.1 Diagrama de un termopar

Los AD22100 (figura 3.6.5.2) y AD22103 con salida radiométrica con la tensión de alimentación, lo que eliminan la necesidad de tensiones de alimentación altamente estables o de referencias de precisión cuando se emplea como entrada de un conversor A/D.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

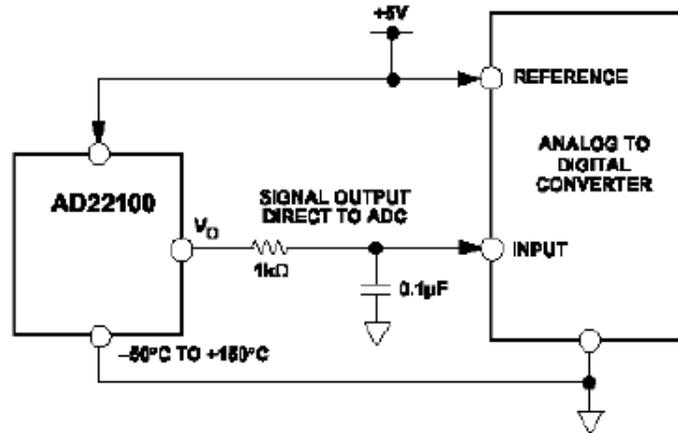


Figura 3.6.5.2 Aplicación de los sensores radiométricos AD22100.

3.6.6 SENSORES DE TEMPERATURA CON SALIDA DIGITAL

La incorporación de dispositivos digitales integrados junto con el sensor reduce el número de componentes externos en las aplicaciones. Así, los circuitos de *Analog Devices* TMP03 con salida colector abierto y el TMP04 (figura 3.6.6.1) con salida lógica CMOS, proporcionan una salida digital serie con modulación de ancho de pulsos, PWM.

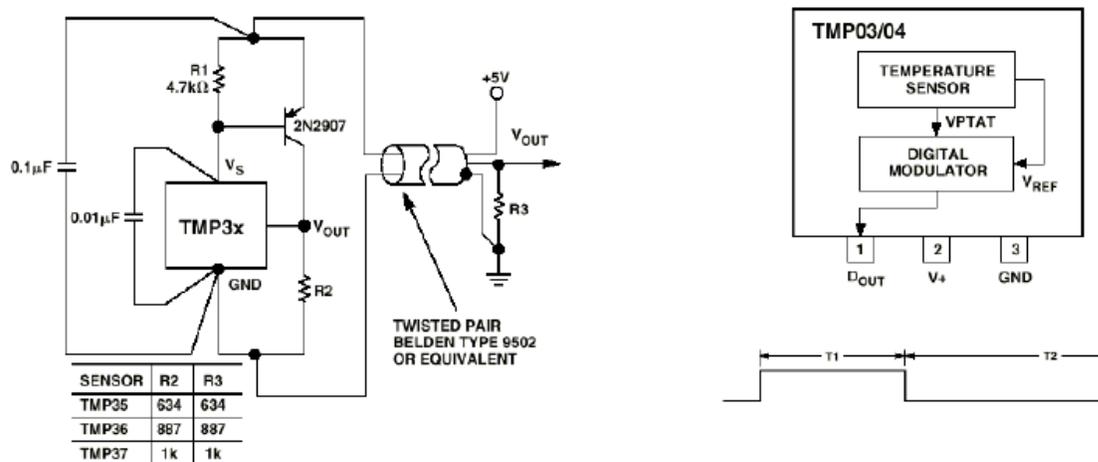


Figura 3.6.6.1 Diagramas del Termopar TMP03/04

Otros dispositivos sensores de temperatura pueden tener una salida I²C o pueden incorporar un convertidor A/D sigma-delta, como el LM75 de Philips o el AD7415 de Analog Devices o su homologo con SPI el AD7314 (figura 3.6.6.2).

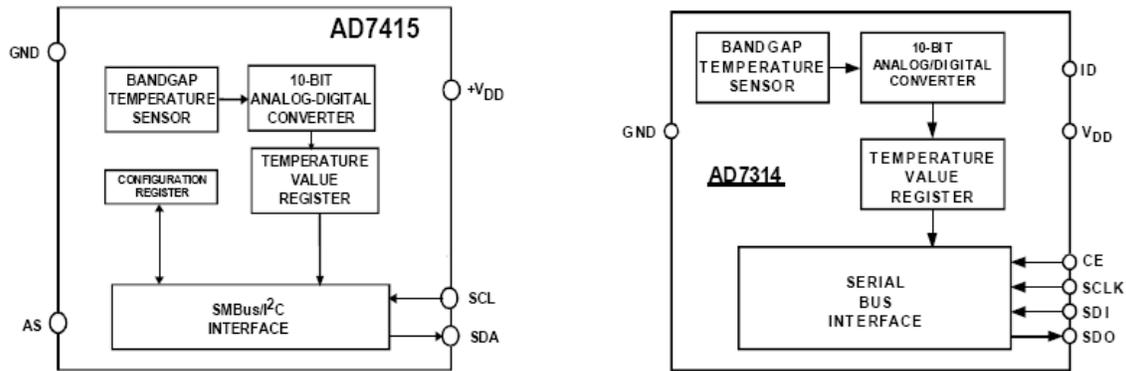


Figura 3.6.6.2 Diagrama del sensor de Analog Devices AD7314/AD714

3.6.7 SENSORES DE SILICIO CON EFECTO RESISTIVO

La familia de sensores de temperatura de silicio de Infineon y Philips KTY (figura 3.6.7.1) son de alta exactitud, lineales y con una excelente estabilidad a lo largo del tiempo, son una alternativa a los sensores más convencionales basados en la tecnología NTC o PTC. Las propiedades de estos sensores de temperatura están basadas en el comportamiento estable del silicio. Esto significa que las derivadas por la temperatura son despreciables durante la vida del equipo.

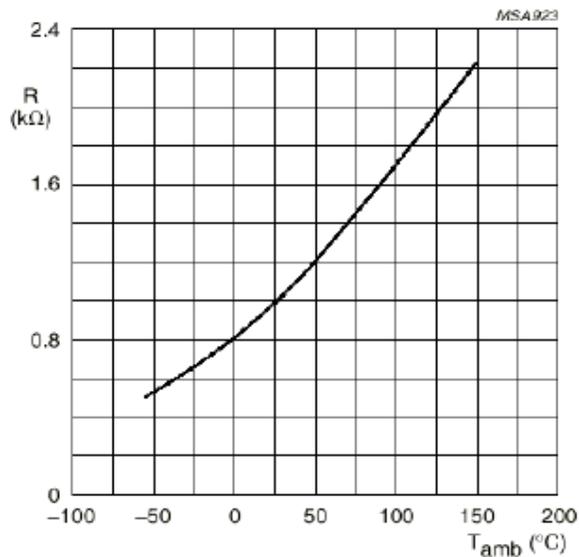


Figura 3.6.7.1 Característica del KTY81.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Los sensores de temperatura de silicio muestran una característica casi lineal comparada con la característica exponencial de las NTC. Esto significa que tienen un coeficiente de temperatura que es casi constante en todo el rango de temperatura. Esta característica se puede utilizar cuando el sensor se usa como compensación de temperatura para un microprocesador con convertor de A/D integrado.



La construcción básica del chip sensor se muestra en la figura 3.6.7.2. y (3.6.7.3-4) El montaje cónico de distribución de la corriente a través del cristal recibe el nombre de 'resistencia extendida'. La ventaja de este montaje es que se reduce la dependencia de la tolerancia de fabricación de las resistencias del sensor.

Figura 3.6.7.2 Construcción básica de un chip sensor

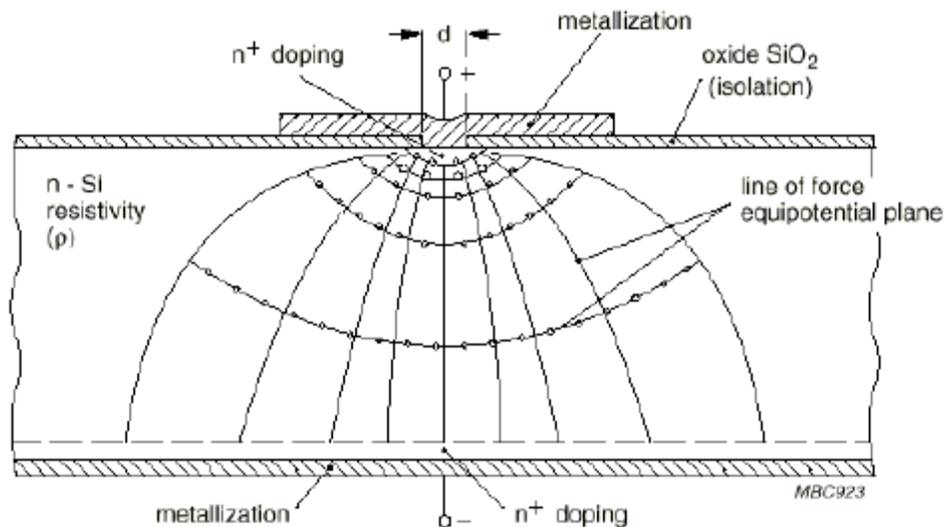


Figura 3.6.7.3 Sección transversal de un cristal de un sensor KTY.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

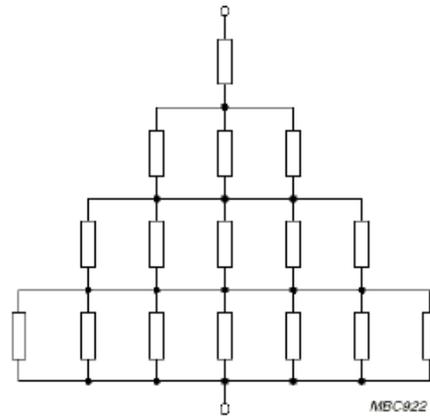


Figura 3.6.7.4 Circuito equivalente de los KTY.

Un segundo montaje, consiste en dos sensores simples conectados en serie, pero con polaridad opuesta, que tiene la ventaja de tener una resistencia que es independiente de la dirección de la corriente. Este montaje es para corrientes altas y temperaturas por encima de 100°C, su resistencia varía un poco según la dirección de la corriente, por lo que hay que tener en cuenta la polaridad. El KTY84 está diseñado específicamente para el funcionamiento a temperaturas de 300 °C.

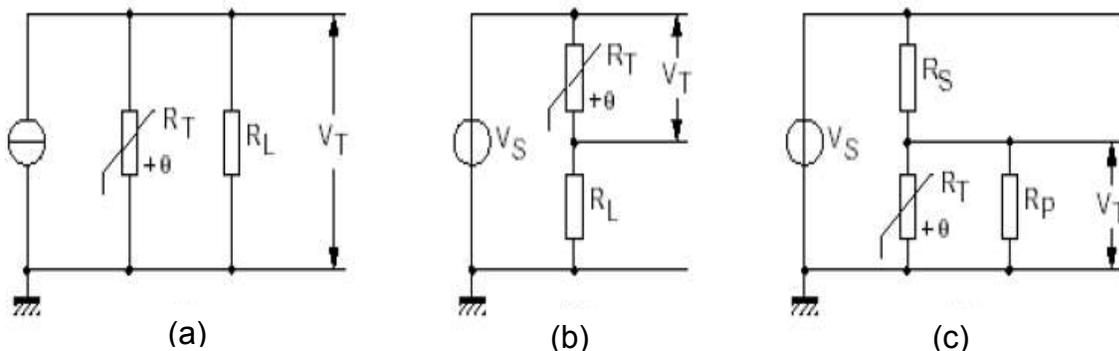
Polaridad: El tipo de montaje de dos sensores en serie, pero con polaridad opuesta, se ha aplicado en la serie KTY81/82; estos sensores, por consiguiente, no tienen polaridad. El KTY83/84/85 ver tabla 3.6.7.1 usa el montaje más básico de un solo sensor, con lo que hay que respetar la polaridad del sensor.

Tipo	R25°C (Ω)	Tolerancia disponible (ΔR)	Rango de Temperatura (°C)	Encapsulado
KTY81-1	1000	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$	-55° a 150°	SOD70
KTY81-2	2 000	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$	-55° a 150°	SOD70
KTY82-1	1000	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$	-55° a 150°	SOT23
KTY82-2	2000	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$	-55° a 150°	SOT23
KTY83-1	1000	$\pm 1\%$ a ± 5	-55° a 175°	SOD68 (DO-34)
KTY84-1	1000 (R100)	$\pm 3\%$ a $\pm 5\%$	-40° a 300°	SOD68 (DO-34)
KTY85-1	1000	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$	-40° a 125°	SOD80

Tabla 3.6.7.1 Características de los sensores KTYX

Linealización: La característica de resistencia/temperatura de los sensores de temperatura de silicio es casi lineal, pero en algunas aplicaciones es necesario mejorar esta linealización, como en sistemas de control que requieren una alta exactitud. Una manera simple de hacer esto, es poner la resistencia del sensor 'RT' en paralelo con una resistencia fija 'RL', figuras 3.6.7.5 (a). La resistencia final de la combinación en paralelo, $R_L \times R_T / (R_L + R_T)$, es en una función lineal con la temperatura y el voltaje de salida será linealmente proporcional a la temperatura.

Si el circuito está alimentado por una fuente de tensión constante, figuras 3.6.7.5 (b), se puede conectar una resistencia de linealización en serie con el sensor. El voltaje en el sensor, será de nuevo una función casi lineal de la temperatura. En la práctica, una fuente de corriente es demasiado cara, entonces se puede usar un voltaje fijo de 5 o 12 V para conseguir una corriente de trabajo de 1mA, por ejemplo. En este caso, la linealización se puede conseguir por una combinación de resistencias serie/paralelo con el sensor, figuras 3.6.7.5 (c). La resistencia de la combinación en paralelo (R_P , R_T) y la resistencia R_S es igual a la resistencia R_L de linealización óptima, calculada previamente.



Figuras 3.6.7.5 Tres formas de linealización.

- (a) Con una resistencia 'RL' en paralelo con el sensor.
- (b) Con una resistencia 'RL' en serie con el sensor y alimentado por una fuente de tensión constante.

(c) Con una resistencia 'RS' en serie y una resistencia 'RP' en paralelo y alimentado por una fuente de tensión constante.

3.6.8 COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA EN UN CONVERTIDOR A/D INTEGRADO EN UN MICROCONTROLADOR:

Cuando un convertidor A/D está integrado en un microcontrolador, se requiere una compensación de la temperatura. La figura 3.6.8.1 muestra una configuración típica, usando un sensor de temperatura KTY81-210 en serie con una resistencia de linealización RS. Este divisor de tensión proporciona un voltaje proporcional y lineal a la temperatura, con la VT entre 1.127 V y 1.886 V sobre un rango de temperatura entre 0° y 100°C. Este voltaje se usa como referencia de tensión para el convertidor A/D. La pendiente lineal de VT = 7.59 mV /°K.

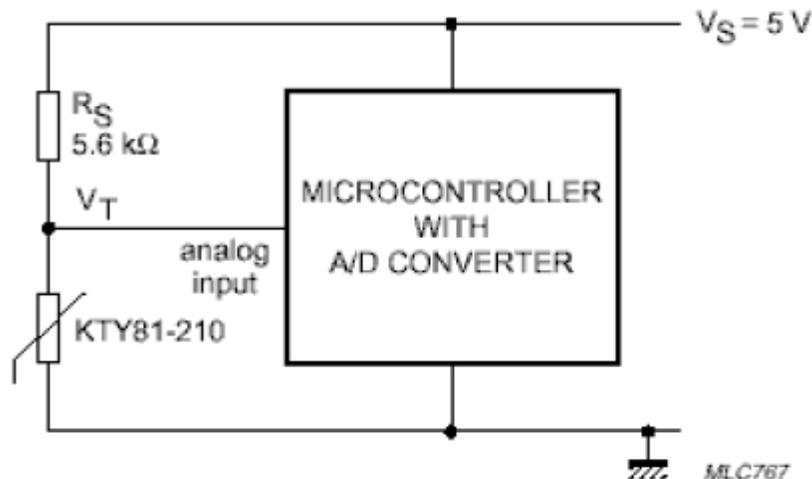


Figura 3.6.8.1 Diagrama de un sensor con convertidor A/D y compensación de Linealización.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

TERMOPARES	RTDs	TERMISTORES	SEMICONDUCTORES
Rango muy grande:	Rango:	Poco Rango:	Rango:
-184°C a +2300°C	-200°C a +850°C	0°C a +100°C	-55°C a +150°C
Alta Precisión y Repetibilidad	Buena Linealidad	Pobre Linealidad	Linealidad: 1°C Precisión: 1°C
Necesita Unión Fría de Compensación	Requiere Excitación	Requiere Excitación	Requiere Excitación
Bajo Voltaje de Salida	Bajo Costo	Alta Sensibilidad	Salida Típica 10mV/K, 20mV/K o 1µA/K

Tabla 3.6.8.1 Resumen de sensores

3.6.9 TERMOSTATOS

Algunos sensores de temperatura han sido especializados en el tipo “termostato” y además programables, el primer fabricante ha sido *Analog Devices*, que con el TMP01 ha empezado una familia de termostatos programables.

El TMP-01 contiene un sensor de temperatura que genera una tensión de salida proporcional a la temperatura absoluta y también dos comparadores con dos salidas, que indican cuando está por encima o por debajo de un rango específico de temperatura. Ambos puntos de disparo (alta/baja temperatura) y el ciclo de histéresis, son seleccionados por el usuario por tres resistencias externas.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

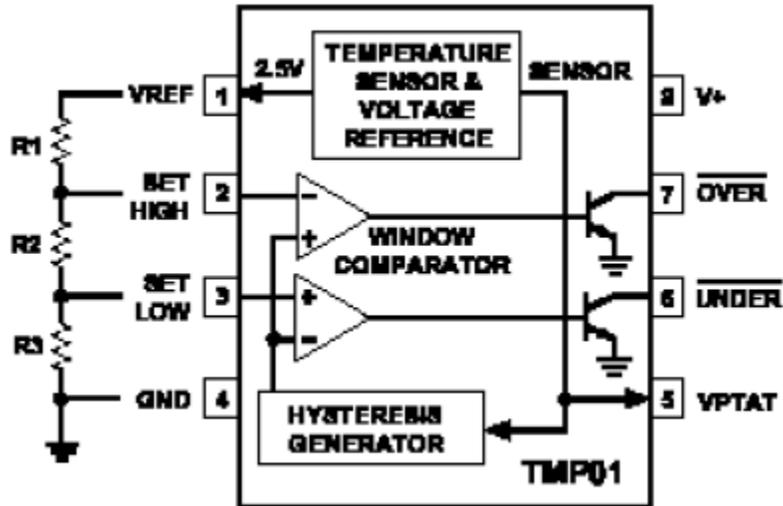


Figura 3.6.9.1 Diagrama de bloques funcional del TMP01. [12]

El TMP-01 contiene una tensión de referencia de 2,5V, combinada con dos comparadores pareados y una tensión proporcional a la temperatura absoluta (VPTAT) con un coeficiente de temperatura de $5\text{mV}/^\circ\text{K}$. La temperatura de trabajo es de -55°C hasta $+150^\circ\text{C}$. Los comparadores comparan la VPTAT con los puntos de disparo externos y cuando han superado respectivamente el punto de umbral dan salida a los transistores de colector abierto capaces de entregar 20mA.

La histéresis de temperatura, es el número de grados en que ha de sobrepasarse el punto seleccionado de temperatura original que debe ser sentido por el TMP-01 antes que el comparador sea puesto a cero y la salida inhabilitada. La figura 3.6.9.2 muestra el ciclo de histéresis para los dos comparadores.

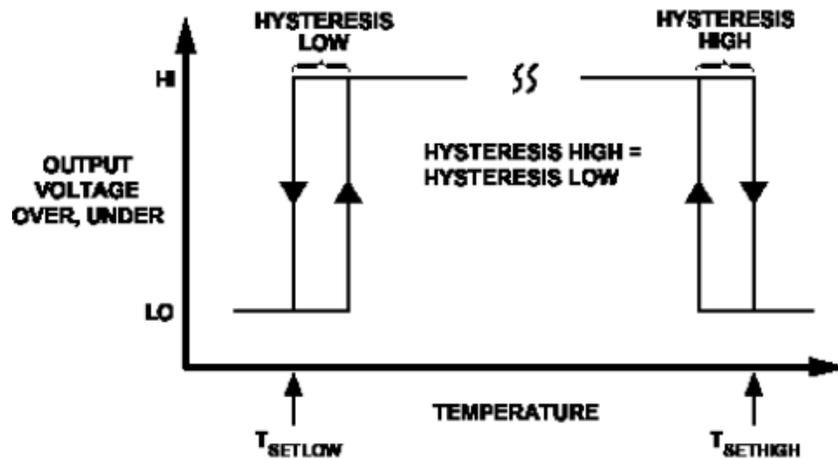


Figura 3.6.9.2 Histéresis del TMP-01.

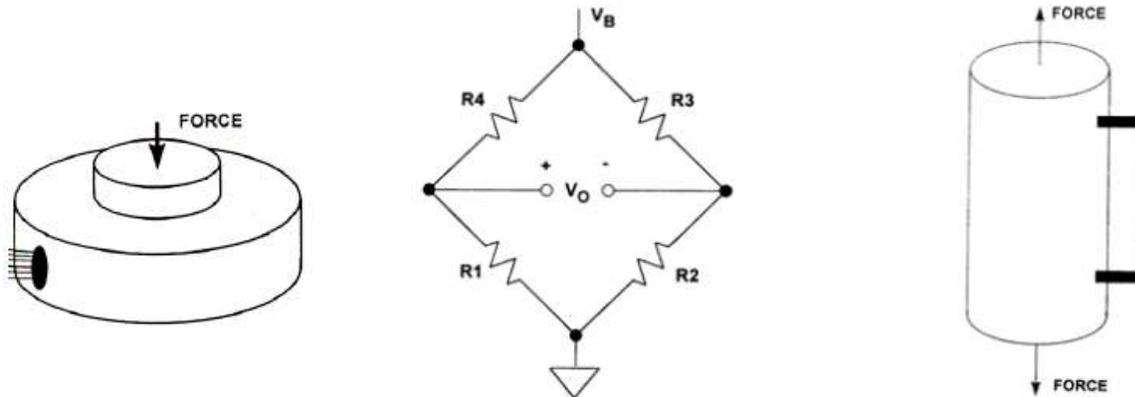
La salida del comparador permanecerá "ON" hasta que la tensión de entrada, ahora igual a la VPTAT (Tensión de salida del sensor de temperatura) sumada al offset de histéresis, haya vuelto al punto de tensión programada. Entonces el comparador pasa a "OFF" desactivando la salida de colector abierto

3.7 SENSORES DE PRESIÓN

3.7.1. SENSORES DE PRESIÓN RESISTIVOS

Una presión sobre una membrana hace variar el valor de las resistencias montadas en puente de Wheatstone apareadas. Las Células de Carga y las Galgas Extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación del material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW



Figuras 3.7.1.1 Sensor de Presión Resistivo

3.7.2 SENSORES DE PRESIÓN PIEZO-CERÁMICOS/MULTICAPA:

La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor.

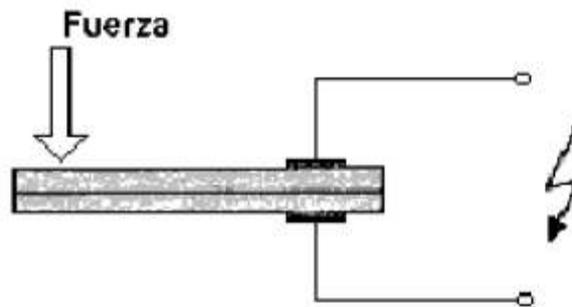


Figura 3.7.2.1 Sensor Piezo-Cerámicos

3.7.3 SENSORES DE PRESIÓN CON SEMICONDUCTORES [24]

Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor. *Motorola* fabrica sensores de presión con su familia MPX.

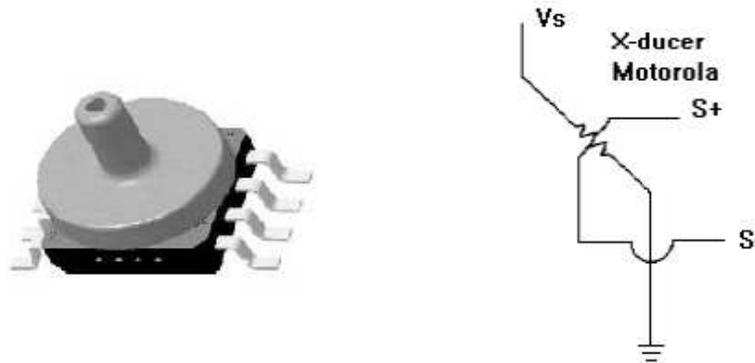


Figura 3.7.3.1 Sensor Piezo-Resistivo.

3.7.4 SENSORES DE PRESIÓN RESISTIVOS

Cualquier sistema de medida de presión tipo resistivo, requiere de una tensión estable de excitación y normalmente está formado por un puente de Wheatstone (desarrollado por S.H. Christie en 1833) (figura 3.7.4.1). Este simple montaje, consiste de cuatro elementos resistivos conectados en forma de puente, una fuente de excitación (tensión o corriente) conectada a una de las diagonales y un detector de tensión o corriente conectado en la otra diagonal. El detector mide la diferencia entre las salidas de dos divisores potenciométricos conectados a través de la fuente de alimentación.

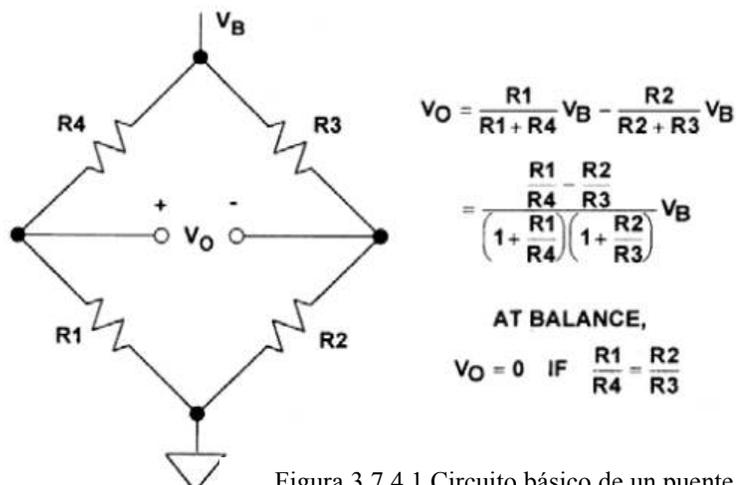


Figura 3.7.4.1 Circuito básico de un puente de Wheatstone.

Para la mayoría de aplicaciones de sensores se emplean puentes, la desviación de una (figura 3.7.4.2) o más resistencias en un puente, desde un valor inicial puede ser medido como una indicación de magnitud (o un cambio) de la medida. En la siguiente figura se muestra un puente con todas las resistencias iguales; pero una de ellas (R_1) es variable por un factor, $(1+X)$, donde X es una desviación fraccionaria alrededor de cero. Como la ecuación indica, la relación entre la salida del puente y X no es lineal, pero para pequeños rangos de X es suficientemente lineal para algunos de los casos. Por ejemplo, si $V_b=10V$, y el máximo valor de X es ± 0.002 , la salida del puente será lineal entre 0.1% para el rango de salida de 0 a $\pm 5mV$, y del 1% para el rango de 0 a $\pm 50mV$ (que es un valor X de ± 0.02).

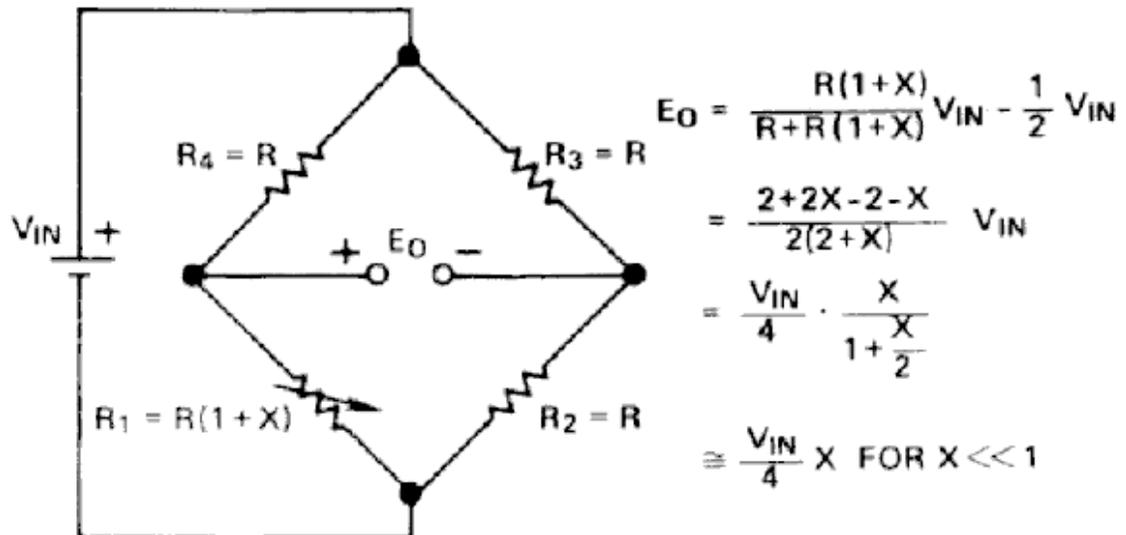


Figura 3.7.4.2 Circuito en Puente de resistencias con un solo elemento variable.

La Sensibilidad de un puente es la relación del máximo cambio esperado en el valor de salida a la tensión de excitación. Para el ejemplo dado en el párrafo anterior, la sensibilidad será $\pm 500\mu V/V$ y $\pm 5mV/V$. La sensibilidad puede ser doblada si dos elementos idénticos (Figura 3.7.4.3) se utilizan como variables. En la figura se muestra cómo utiliza las resistencias R_1 y R_3 como variables. La salida se duplica, pero la no linealidad permanece, la misma que el ejemplo anterior.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

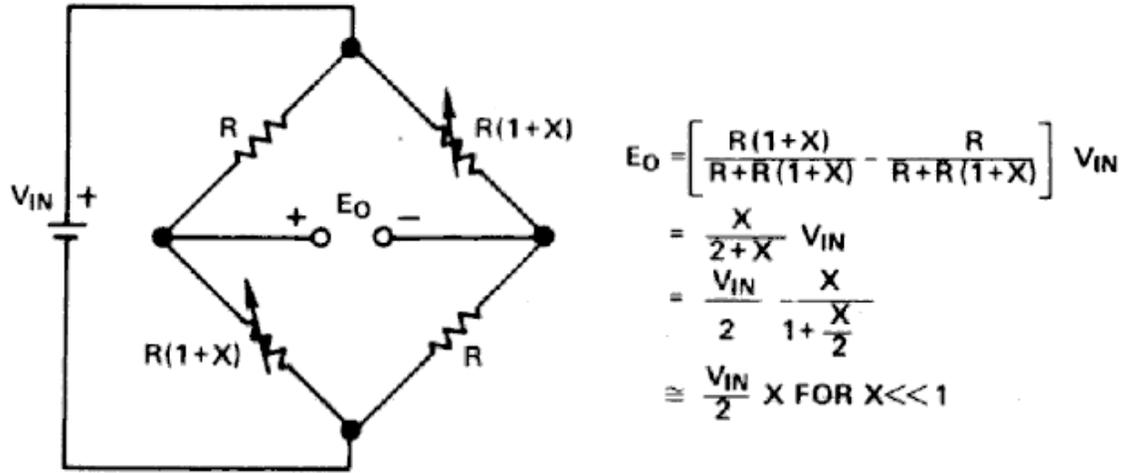


Figura 3.7.4.3 Circuito en Puente de resistencias con dos elementos variables.

En casos especiales, se puede volver a doblar la salida. En la figura 3.7.4.4 se muestra un puente con cuatro resistencias variables, dos de las cuales se incrementan y las otras dos decrecen en la misma relación. Dos Galgas Extensiométricas idénticas, montadas en oposición configuran este circuito.

La salida del puente, tendrá cuatro veces la salida de un puente con un solo elemento variable y además, la naturaleza complementaria de los cambios de resistencia da una salida lineal.

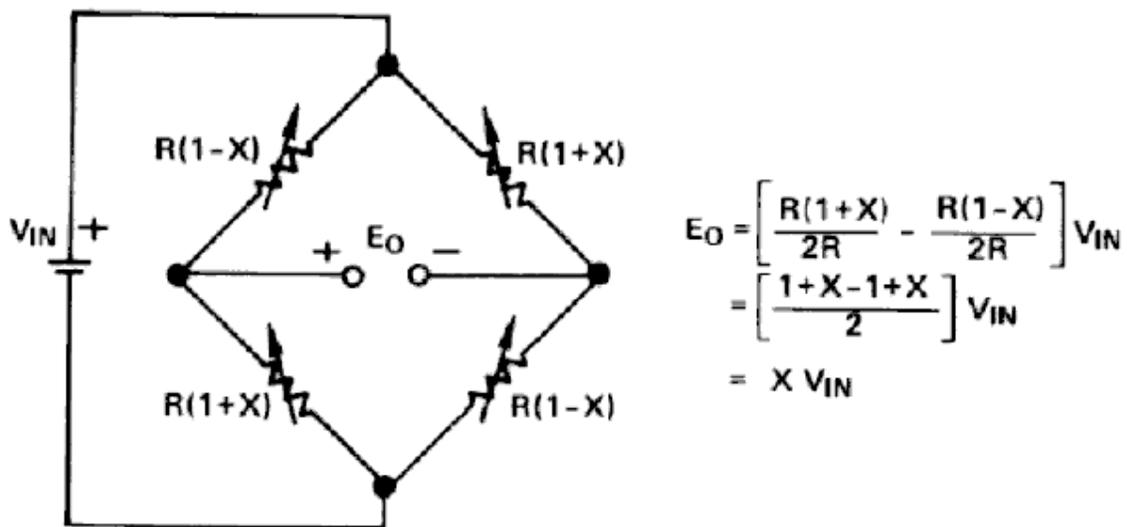


Figura 3.7.4.4 Circuito en Puente de resistencias con todos los elementos variables.

En la figura 3.7.4.5 siguiente se muestra un puente empleando un potenciómetro en una de las ramas. La posición del potenciómetro es la medida del fenómeno físico. Puesto que es una versión con dos elementos variables, la salida será doble, y como que es de naturaleza complementaria también será lineal.

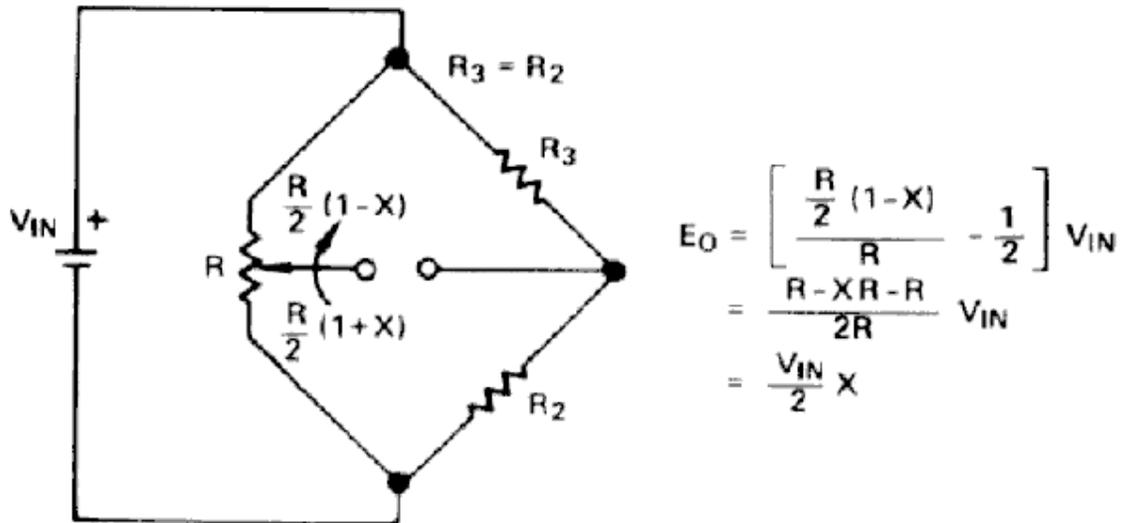


Figura 3.7.4.5 Circuito en Puente de resistencias con una rama potenciométrica.

Por último, se puede montar un puente activo, el amplificador operacional (figura 3.7.4.6) produce un cero añadiendo una tensión en serie con la rama variable. La tensión de salida es igual en magnitud y opuesta en polaridad para incrementar la tensión a través de R_x , y ésta es intrínsecamente lineal con X . Como que la salida del puente activo es un amplificador operacional, tiene baja impedancia de salida. La ganancia es doble que la salida de un puente con un solo elemento variable, y lineal.

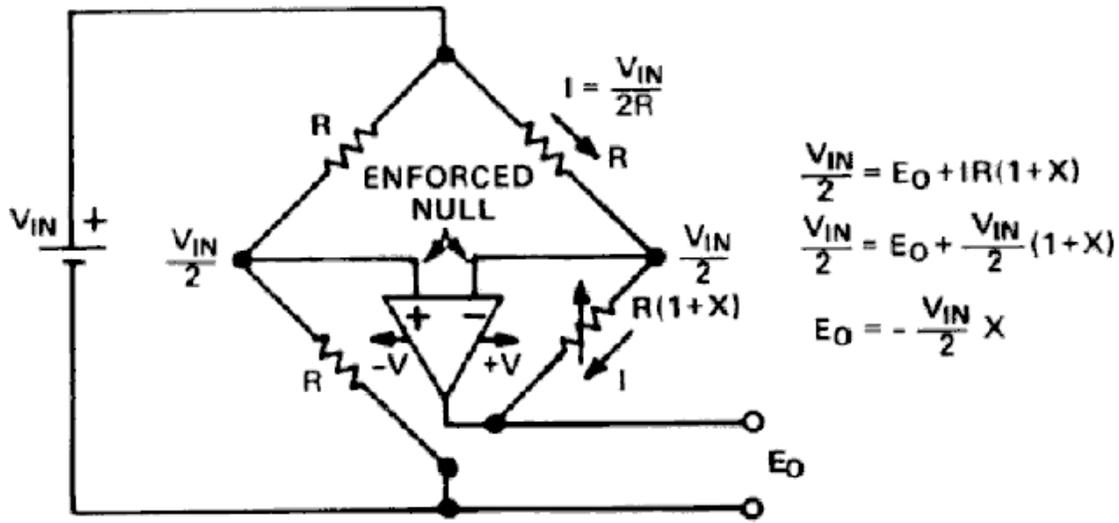


Figura 3.7.4.6 Circuito en Puente de resistencias activo.

3.7.5 SENSORES PIEZOELÉCTRICOS

Los sensores piezoeléctricos entregan una tensión cuando se les aplica una fuerza y pueden ser acondicionados con un circuito tal como se muestra en la figura 3.7.5.1 siguiente.

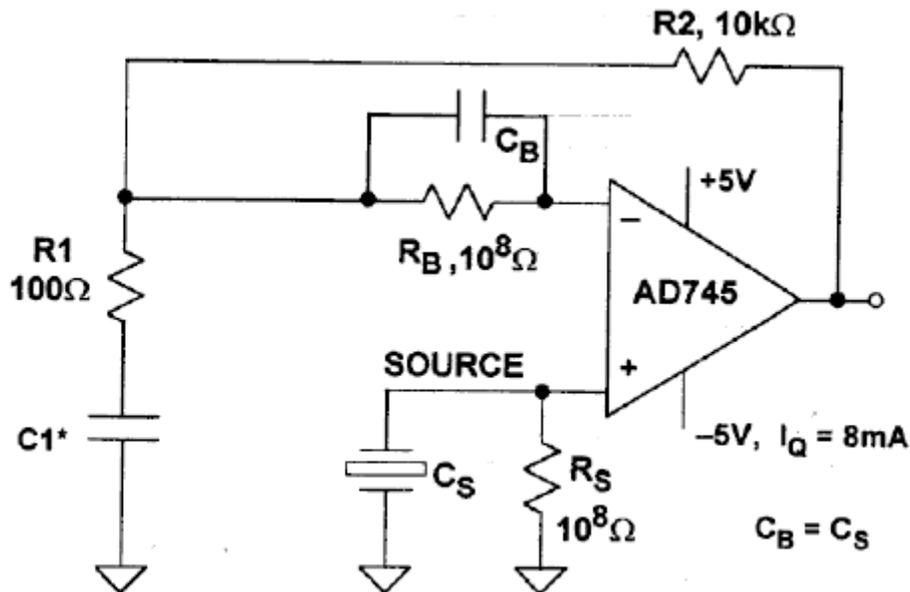


Figura 3.7.5.1 Diagrama del acondicionador AD745

3.7.6 SENSORES DE PRESIÓN CON SEMICONDUCTOR

Infineon y *Motorola* fabrican una serie de sensores de presión con semiconductores, cuyas prestaciones y su bajo precio son parte de la tecnología asociada. Un diseño único dotado de un ajuste con láser controlado por ordenador, hace que estos dispositivos sean altamente competitivos.

3.7.7 FUNCIONAMIENTO DE SENSORES DE PRESIÓN MPX DE MOTOROLA

Está basado en el diseño patentado del calibrador de fuerza. A diferencia de los sensores de presión más convencionales que utilizan las cuatro resistencias exactamente apareadas en una configuración de puente de Wheastone, la serie MPX utiliza solamente un único elemento piezoresistivo implantado en un diafragma de silicio que sensa la tensión mecánica inducida en el diafragma por una presión externa. La salida es un voltaje analógico proporcional a la presión de entrada y al voltaje de alimentación radiométrico. La alta sensibilidad y una excelente repetibilidad a largo plazo hacen que sean las unidades más apropiadas para la mayoría de aplicaciones.

La precisión es muy buena debido al ajuste de las resistencias de calibración y compensación con láser controlado por ordenador, dando la medición de presión muy exacta sobre un rango amplio de temperatura. El efecto de la temperatura es típicamente $\pm 0.5\%$ del fondo de escala sobre un rango de temperatura de 0 a 85 °C, mientras que el efecto sobre la tensión de offset, sobre un rango de temperatura similar, es de ± 1 mV como máximo.

3.7.8 POSIBILIDADES DE ELECCIÓN

- 🌐 **Elección de las Especificaciones:** Los sensores de presión MPX están disponibles en varios rangos de presión para adaptarse a una variedad

amplia de sectores tales como automoción, biomedicina y aplicaciones industriales.

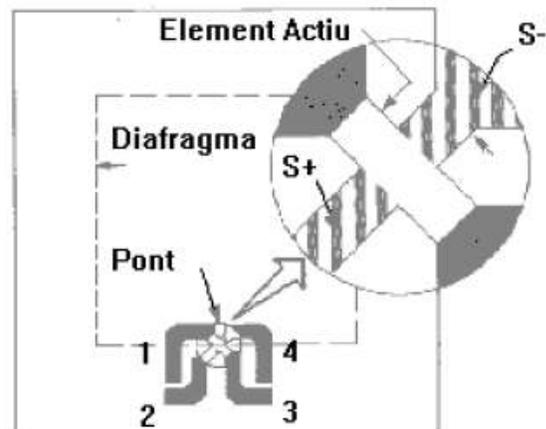
- 🌐 **Elección de la Medición:** Los dispositivos están disponibles para medición de presiones en modo *diferencial, absoluto, o manométrica (gauge)*.

- 🌐 **Elección de la Complejidad del Chip:** Los sensores de presión MPX están disponibles como un elemento sensor básico, con calibración y compensación de temperatura interno o con un circuito de acondicionamiento de señal completo incluido en el chip. El empleo de unidades sin la compensación de la temperatura permite realizar una compensación externa al grado deseado.

- 🌐 **Elección del encapsulado:** Se puede pedir como un elemento básico para un montaje particular, o en conjunción con uno o dos tubos de conexión de la presión diseñados por *Motorola*. Los materiales del encapsulado pueden ser intercambiables, para que estén preparados para encontrar los requerimientos de compatibilidad biomédica.

3.7.9 ESTRUCTURA BÁSICA

Al aplicar presión al diafragma, se produce un cambio de resistencia en la galga extensiométrica, que causa a su vez un cambio en el voltaje de salida en proporción directa a la presión aplicada. La galga extensiométrica es una parte integral del diafragma de silicio, y por lo tanto no se introducen los



1. masa
2. +Vout
3. Vs
4. -Vout

Figura 3.7.9.1 Sensor de Presión

errores típicos debidos a diferencias de expansiones térmicas. No obstante, los parámetros de salida de la galga extensiométrica dependen de la temperatura, sin embargo, se requiere que el dispositivo esté compensado si se utiliza sobre un rango de temperatura extensa. Una red simple de resistencias se puede utilizar para un rango estrecho de temperatura, por ejemplo de 0 °C a 85 °C. Para rangos de temperatura de -40 °C a + 125 °C, son necesarias redes compensadoras más complejas.

Los Sensores X-ducer™ es un sistema patentado por *Motorola*. Una corriente de excitación circula longitudinalmente a través de la resistencia, puntos 1 y 3 de la siguiente figura 3.7.9.2, y la presión que se ejerce en el diafragma está aplicada en un ángulo recto con respecto al flujo de corriente. La tensión mecánica establece un campo eléctrico transversal en la resistencia, que está sensando como un voltaje en los puntos 2 y 4, que están localizados en el punto medio de la resistencia.

Utilizando un único elemento elimina la necesidad de emparejar exactamente las cuatro resistencias de un puente de Wheatsto Figura 3.7.9.2 Diafragma de un sensor X-Ducer
temperatura y a esfuerzos mecánicos. Al mismo tie
circuitos adicionales necesarios para lograr la calibración y compensación en temperatura. El “offset” no depende de las resistencias apareadas, sino de la exactitud de la alineación de los elementos donde se recoge la tensión. Esta alineación se logra en un único paso fotolitográfico, fácil de controlar.

3.7.10 ELEMENTO SENSOR BÁSICO.

Tipos de medición

Los sensores de presión de *Motorola* están disponibles en tres diferentes configuraciones que permiten una medición de presión **absoluta**, **diferencial** y **manométrica**.

Los **sensores de presión absoluta**: miden la diferencia entre la presión externa aplicada a un lado del diafragma, y a una presión de referencia cero (vacío), aplicada al otro lado.

Aplicaciones: Barómetros, Detección de fugas, Altimetros...

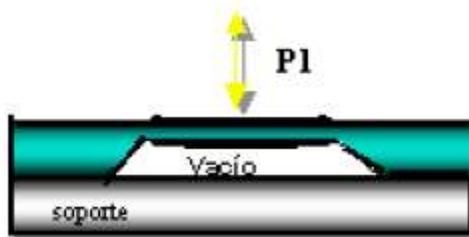


Figura 3.7.10.1 Sensor Absoluto: $P_1 - P(\text{vacío})$

Los **sensores de presión diferencial**: son parecidos a la bajada de presión a través de una válvula o filtro en un conducto de aire; está diseñado para aceptar simultáneamente dos fuentes de presión independientes. La salida es proporcional a la diferencia de presión a las dos fuentes.

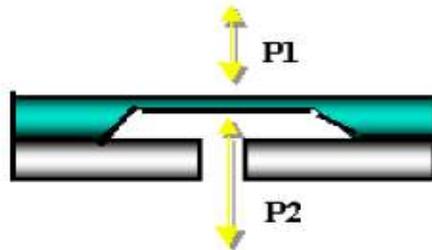


Figura 3.7.10.2 Sensor Diferencial $P_1 - P_2$

Aplicaciones: Flujo de aire, Control de filtros de aire. Los **sensores de presión manométrica**, son como una medición de presión arterial, es un caso especial de presión diferencial, donde la presión atmosférica se utiliza como referencia, un lado del sensor está abierto a la atmósfera.

Aplicaciones: Presión sanguínea, Nivel de líquidos, Presión de ruedas...

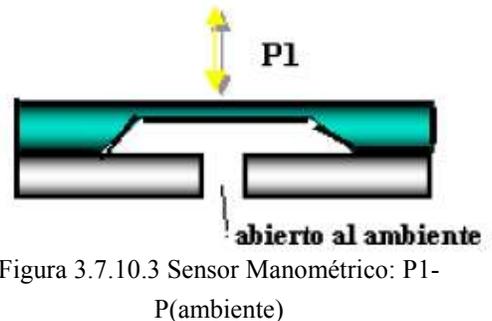


Figura 3.7.10.3 Sensor Manométrico: $P_1 - P(\text{ambiente})$

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

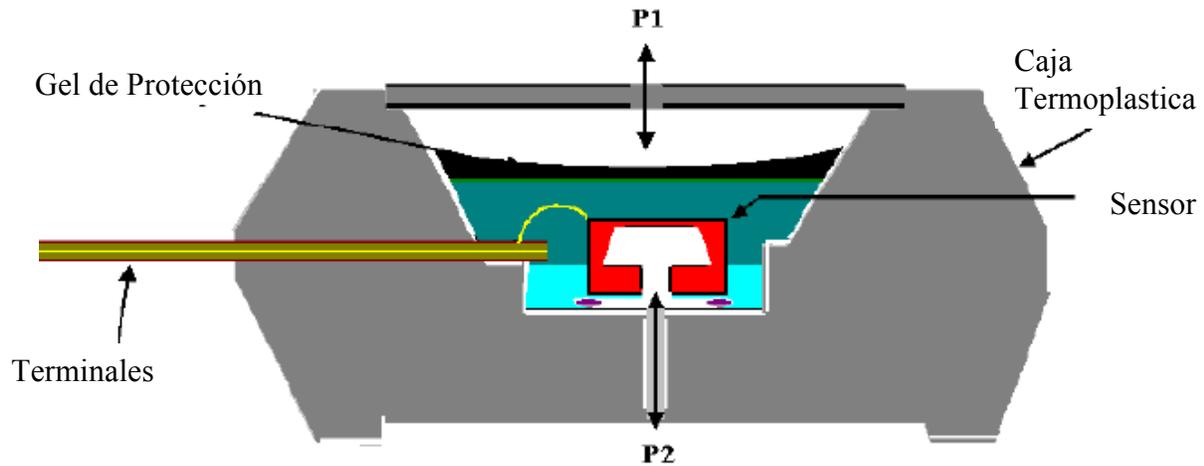


Figura 3.7.10.4 Sección de un sensor de presión Diferencial.

La sección transversal de la estructura diferencial muestra un gel de silicona que aísla la superficie del "dado" y los hilos de conexión de los entornos duros, mientras que permite que la señal de presión sea transmitida al diafragma de silicio.

Las características de trabajo de los sensores de presión de la serie MPX, las pruebas de fiabilidad y homologación están basadas en el uso de aire seco como medio de presión. Los otros medios que no sean aire seco pueden tener efectos adversos en las características y estabilidad a largo plazo.

3.7.11 TIPOS DE COMPLEJIDAD DEL CHIP

- 🌐 **MPX100** Sin Compensar en Temperatura.
- 🌐 **MPX2100** Calibrados y Compensados en Temperatura.
- 🌐 **MPX5100** Calibrados y Compensados en Temperatura, con acondicionador de señal de salida de 0-5V.

De 10 kPa (1.45 psi) hasta 1000 kPa (150 psi).

Aire seco, Aire húmedo, Agua (pH 9.0 a 11.0)

La familia empieza con el MPX10 que corresponde a una deflexión del diafragma a fondo de escala aproximadamente a 15 PSI. Para el MPX50 corresponde a 7.5 PSI. Para el MPX100 corresponde a 15 PSI (una atmósfera). Para el MPX200 corresponde 30 PSI.

3.7.12 ACONDICIONADOR DE LA SEÑAL INTERNO

Para hacer más fácil el trabajo, Motorola ha integrado circuitos dentro del sensor, además de la compensación y calibración en temperatura en el chip con la serie MPX2000, ofrece actualmente un acondicionador de la señal con un amplificador que se ha integrado en el chip de la serie MPX5000 para permitir una interconexión directa a cualquier microcontrolador que tenga un convertidor A/D. El acondicionamiento de la señal se hace por medio de cuatro etapas de amplificación, incorporando un proceso bipolar lineal, unas técnicas de metalización de película delgada y un ajuste con láser interactivo que le dan una especial tecnología al sensor.

3.7.13 MONTAJE Y OPCIONES DE LOS SENSORES DE PRESIÓN DE LA SERIE MPX DE MOTOROLA

Motorola ofrece una variedad amplia de dispositivos sensores de presión que incorporan tubos de conexión con retención y orejas laterales para su sujeción. Los tubos tienen 1/8" (3 mm) de diámetro, tamaño muy común que hace una instalación relativamente

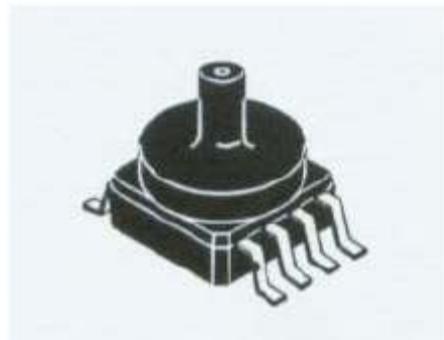


Figura 3.7.13.1 Sensor Motorola

simple.

3.7.14 APLICACIONES DE MEDIDA DE PRESIÓN

Existen muchas aplicaciones donde la medida de la presión es fundamental para controlar un sistema hidráulico o neumático. También se puede utilizar como altímetro midiendo la presión atmosférica. Todo ello con un sistema de adquisición de datos con microcontrolador ejemplo figura 3.7.14.1.

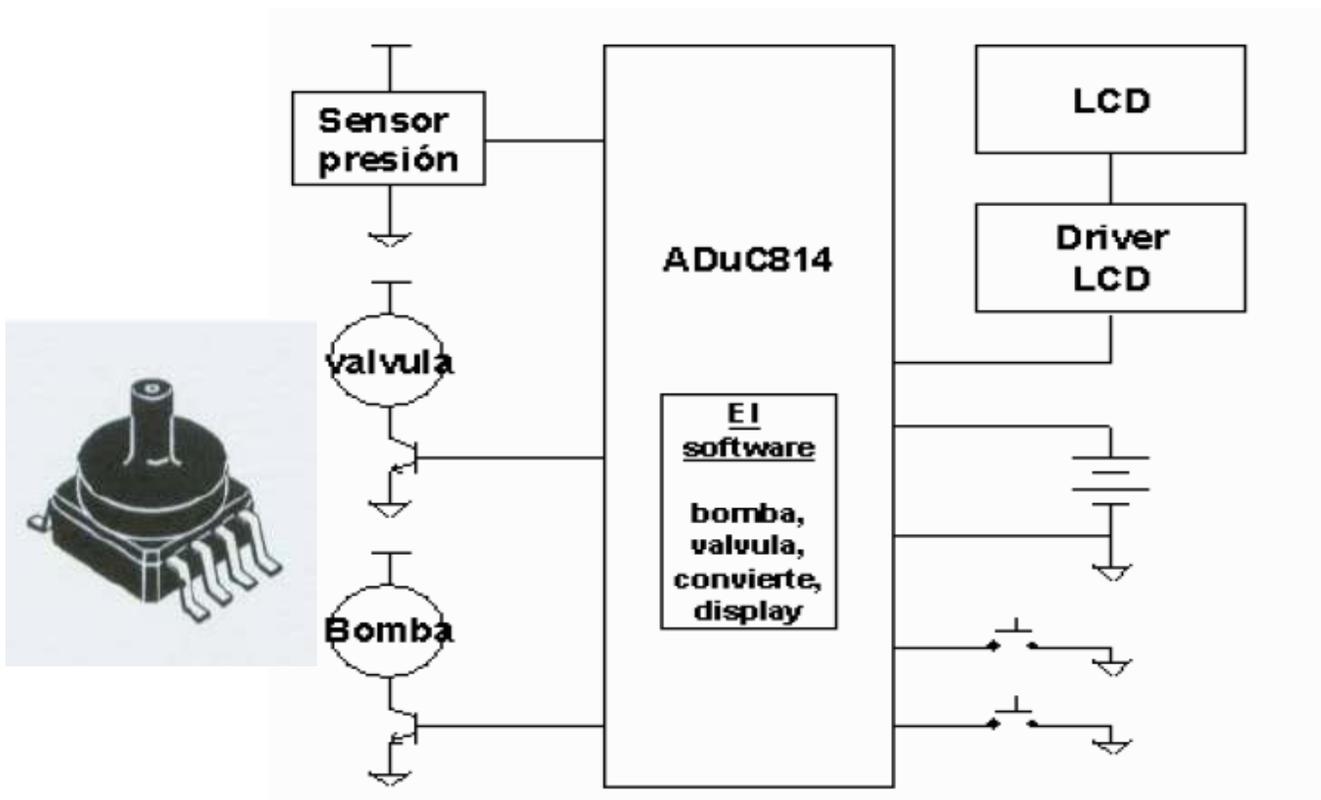


Figura 3.7.14.1 Diagrama de Sensor ADuC814

3.8 ACONDICIONADORES

Los acondicionadores de señal, como su nombre lo dice prepara la señal que vamos a procesar antes de entrar a un convertidor A/D, a un microprocesador o DSP.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

La alta integración de los circuitos está desplazando los montajes con muchos componentes a diminutas placas con mayor precisión en el proceso analógico, empezando por el uso de amplificadores operacionales integrando varios de ellos en uno sólo, como los amplificadores de instrumentación figura 3.8.1.

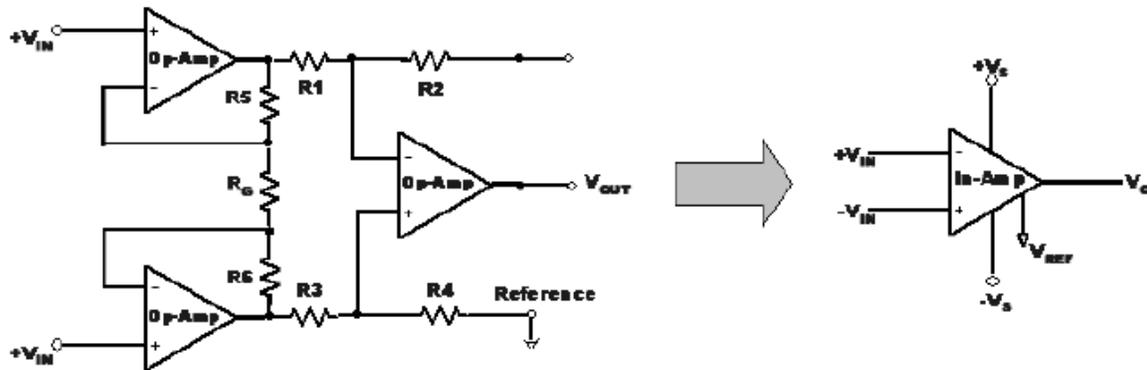


Figura 3.8.1 Amplificadores operacionales integrados.

También las cadenas de acondicionamiento se han ido reduciendo drásticamente y día a día hay que ir viendo los nuevos productos que compiten en costo con los “actuales” y mejoran sus prestaciones.

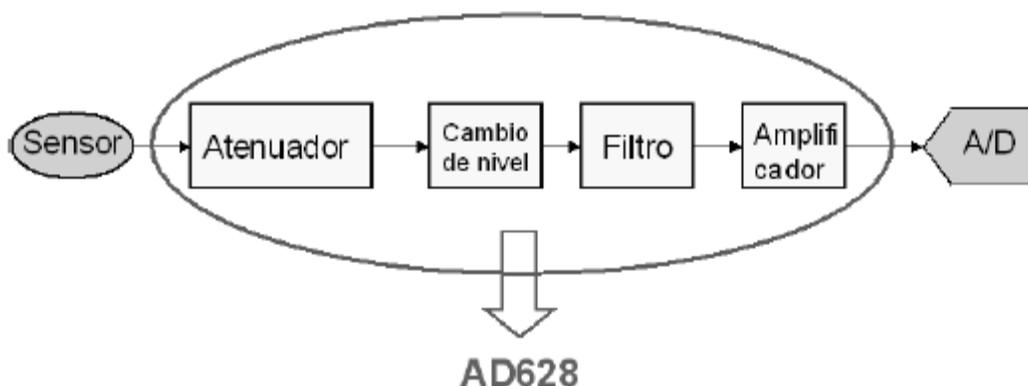


Figura 3.8.2 Partes que contiene el AD628.

Además se pueden encontrar en una cantidad de circuitos acondicionadores, de los principales fabricantes de circuitos analógicos, como *Analog Devices*, *Texas*

Instruments y *BurnBrown* (adquirida por TI), así como en *Philips Semiconductors*,
ST.

3.9 CONSIDERACIONES SOBRE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES [8]

3.9.1 AMPLIFICADOR OPERACIONAL "IDEAL"

Un amplificador operacional "ideal" tiene:

- Impedancia de entrada infinita.
- Impedancia de salida cero.
- Ganancia infinita en lazo abierto en todas las frecuencias.
- Ningún error en DC
- Rechazo en modo común infinito

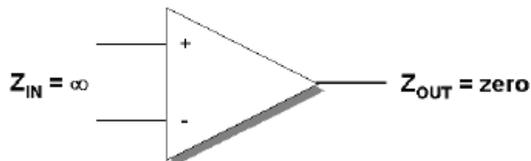


Figura 3.9.1.1 Amplificador Operacional ideal.

3.9.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL "REAL"

Un amplificador operacional "real" tiene un conjunto de parámetros finitos que, a veces, se denominan como "términos de error"

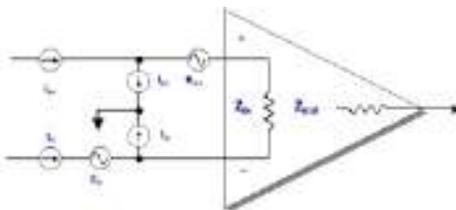


Figura 3.9.2.1 Amplificador operacional real.

Parámetros típicos en DC,

- Tensión de “offset” de entrada, EOS o VOS
- Corriente de “bias” de entrada, Ib

Parámetros típicos en AC,

- Tensión de ruido de entrada, En
- Corriente de ruido de entrada, In
- Pequeña señal / ancho de banda
- Slew rate

Los valores de estos parámetros determinarán las aplicaciones para las que un amplificador está mejor preparado.

3.10 CATEGORÍAS DE LOS AMPLIFICADORES

Los amplificadores operacionales se pueden clasificar en las siguientes categorías:

3.10.1 PRECISIÓN:

Están caracterizados por una baja tensión de “offset” y baja deriva del “offset” por temperatura.

El rango típico de los voltajes de offset de entrada de los amplificadores operacionales es:

- ___ Chopper $< 1 \mu V$
- ___ *Bipolares de Precisión* 10 - 25 μV
- ___ *Bipolares de Propósito General* 50 – 500 μV
- ___ *FET* 50 – 1,000 μV
- ___ *Bipolares de Alta Velocidad* 100 – 2,000 *mv*

3.10.2 BAJA CORRIENTE DE “BIAS” (LOW BIAS CURRENT)

Están caracterizados por una muy baja corriente de “bias” y una muy alta impedancia de entrada. Los amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) son los que tienen mejor estas características. El rango típico de corriente de “bias” según la tecnología de los amplificadores operacionales es:

BJT (Bipolar Junction Transistor):

- *Típicamente de 10 nA a 10 mA*
- *Varía linealmente con la temperatura*
- *Impedancia de entrada típica de centenares de Megaohms*

FET (Field Effect Transistor):

- *Típicamente $\ll 1$ pA*
- *Dobla por cada 10°C de incremento en temperatura*
- *Impedancia de entrada típica 10¹² ohms*

3.10.3 BAJO RUIDO (LOW NOISE)

Están caracterizados por una baja densidad de tensión de ruido (<10 nV por raíz de Hz) y una baja densidad de corriente de ruido, <10pA por raíz de Hz.

3.10.4 ALTA VELOCIDAD (HIGH SPEED)

Están caracterizados por:

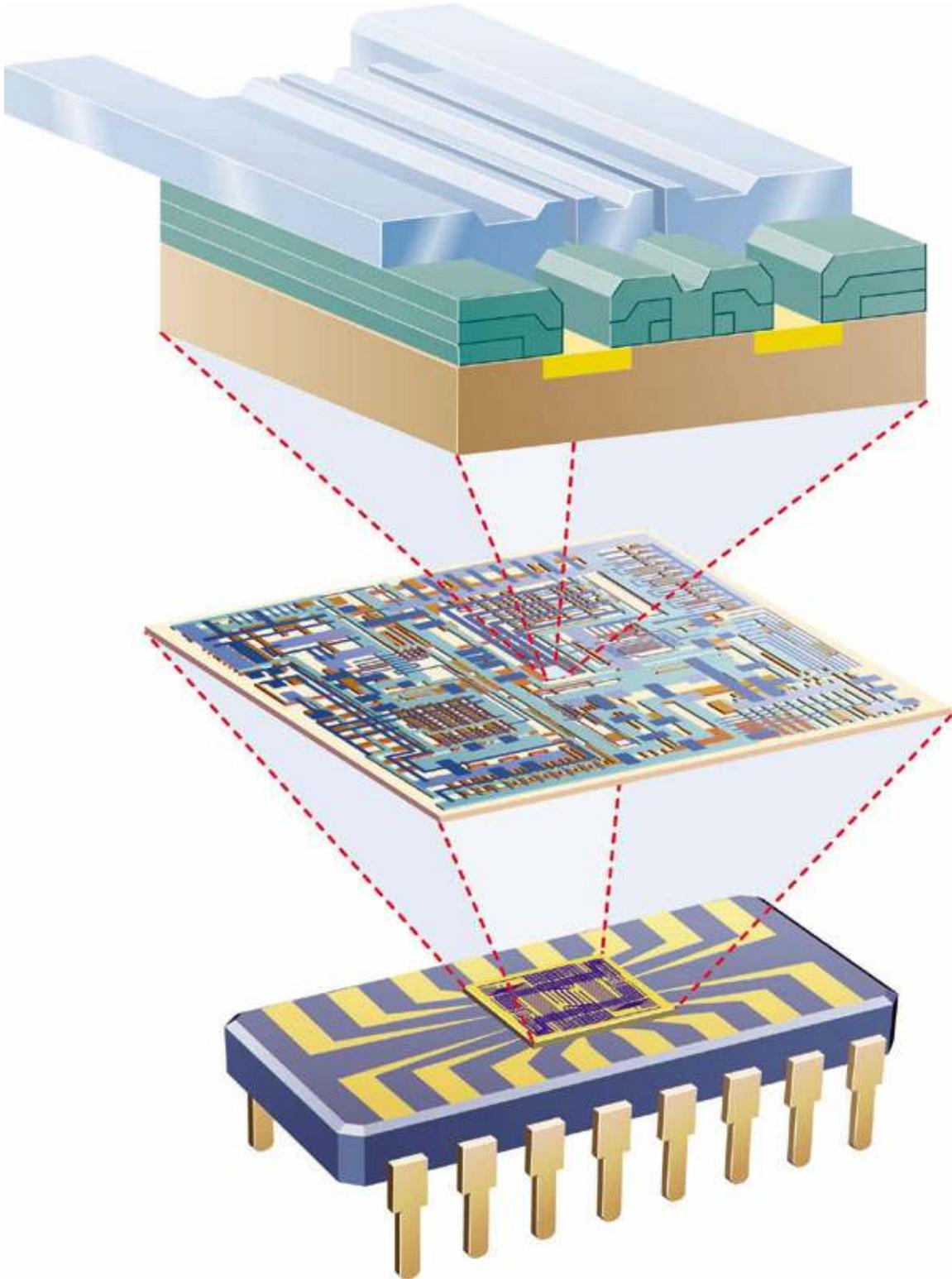
- *High gain bandwidth product >10 MHz*
- *Slew rates > 50 V/ms*
- *Settling times < 100 ns*

3.10.5 ALIMENTACIÓN ÚNICA (SINGLE SUPPLY)

Los amplificadores operacionales se usan en aplicaciones de muy bajo consumo (5μA a 150μA) y bajo voltaje (1.8V a 5V).

*MIROCONTROLADOR PIC,
PUERTO SERIE y MAX 232*

CAPÍTULO IV



4.1. PROCESADORES EN UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑAL

Una vez analizadas las funciones de los acondicionadores, se pueden ver los procesadores avanzados (que incluyen periféricos de precisión para adquisición de datos) que se pueden utilizar dentro de un sistema de adquisición de señal. Hay muchos a la hora de elegir y se tendrán en cuenta sus características para tener una aplicación adecuada.

Primero habrá que analizar los tipos de procesadores que se pueden escoger, los microcontroladores o los DSP, después se tendrá en cuenta en número de bits y la velocidad de proceso que ha de tener el procesador y por último los periféricos que además deben de contener. Además se tiene que tener en cuenta el consumo y por supuesto el precio.

4.2 MICROCONTROLADORES

Todos los fabricantes de microcontroladores incluyen periféricos con ADC (Convertidores A/D de 8, 10 o hasta 12 bits figura 4.2.1) como *Hitachi*, *Motorola*, *Philips*, *ST* y *Texas Instruments*. Hasta los más recientes microcontroladores Flash de *Motorola* de 8 bits y 8 pines incluyen un ADC de 8 bits.

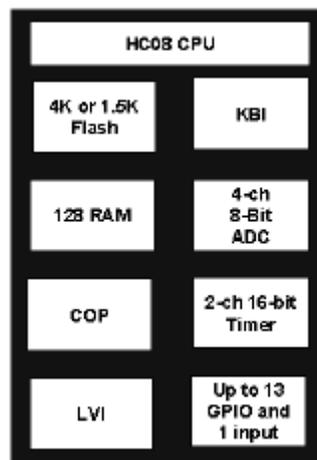


Figura 4.2.1 Arquitectura de microcontrolador.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Actualmente se integran convertidores AD de precisión en un microcontrolador (figura 4.2.2), especialmente dedicados para la adquisición de señal, como los Microconverters de *Analog Devices* y los de *Texas Instruments*. Pero un caso especial es el de *Cypress* que ha entrado en la cuarta generación de microcontroladores, desarrollando un microcontrolador con periféricos programables, tanto analógicos como digitales y especialmente se hace referencia a los bloques analógicos que se pueden programar, como Amplificadores Operacionales, Comparadores, Convertidores Analógicos Digitales del tipo Sigma/Delta, de Aproximaciones Sucesivas, con los que se puede construir un sistema de adquisición de señal completamente integrado.

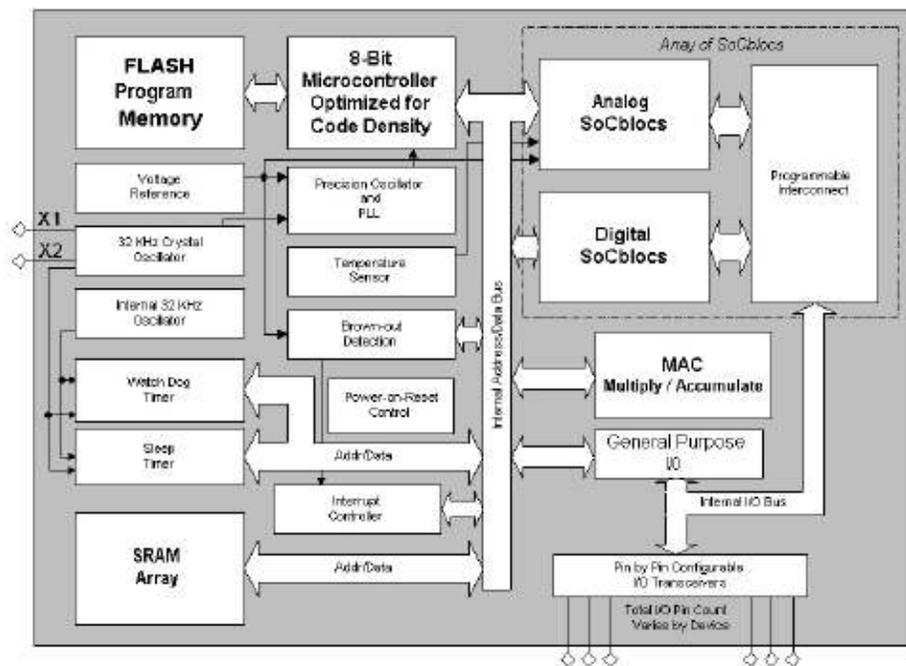


Figura 4.2.2 Convertidor AD de un microcontrolador.

4.3 DSP

Silica es distribuidor de los tres principales fabricantes de DSP, *Analog Devices*, *Motorola* y *Texas Instruments*. En la figura 4.3.1 se muestra la arquitectura de un microcontrolador DSP.

Los DSP incluyen periféricos con ADC de alta precisión y alta velocidad, especialmente diseñados para el control de motor principalmente. En la Figura 4.3.2 se muestra una aplicación con un microcontrolador DSP.

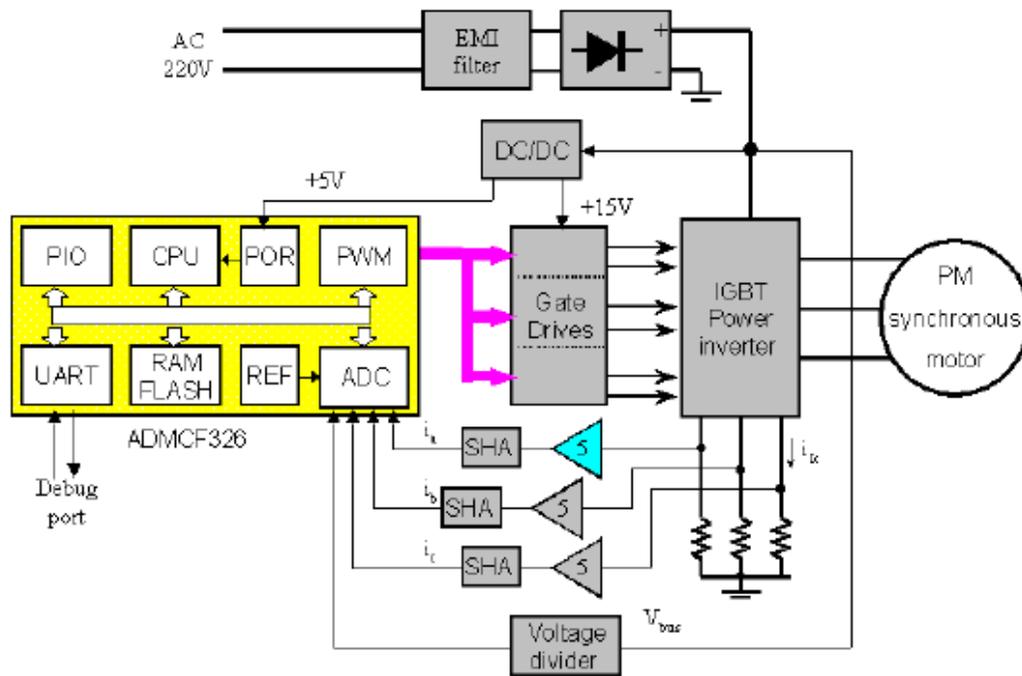


Figura 4.3.1 Arquitectura de un microcontrolador con DSP

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

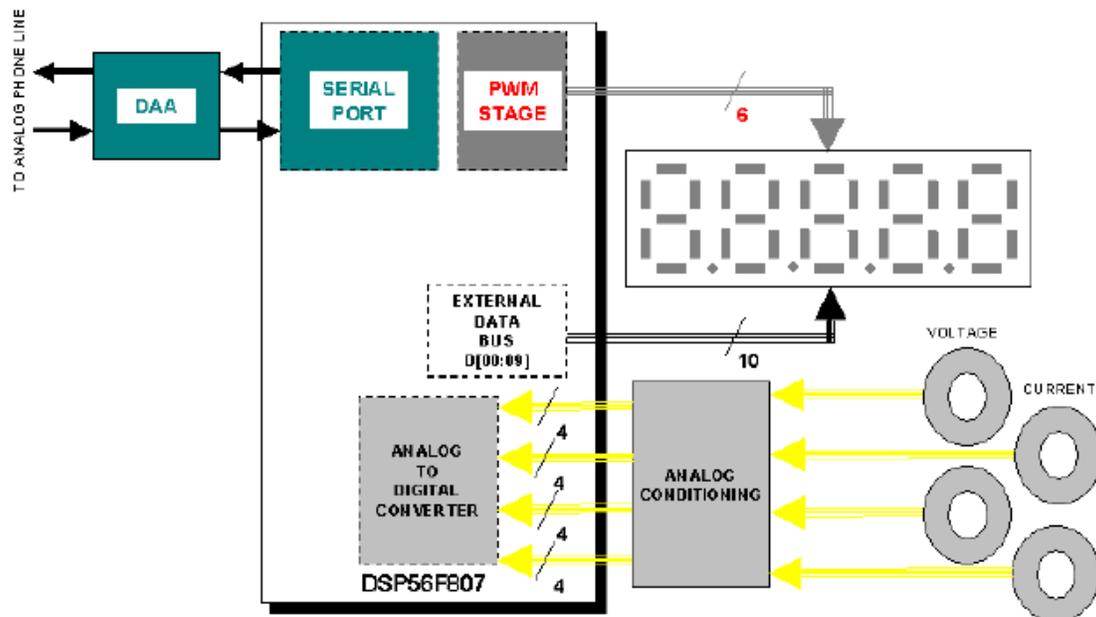


Figura 4.3.2 Ejemplo de un medidor de energía con un DSP de Motorola, que incluye convertidores A/D de 10 bits.

4.4 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A [21]

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip puede desempeñar muchas funciones pero en la que se centrará la atención aquí es la de su conversor analógico-digital. Antes de analizar su funcionamiento se comentarán los conceptos básicos de una conversión de una señal analógica (figura 4.4.1) a digital.

Tanto la voz humana como muchas de las señales que se envían a través de un medio guiado como un cable o no guiado como es el aire son de tipo continuo y pueden tomar infinitos valores a lo largo del tiempo. Por ejemplo podemos decir que la señal eléctrica que se transmite de la tarjeta de sonido al altavoz es continua y puede tomar cualquier tensión entre los dos hilos.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

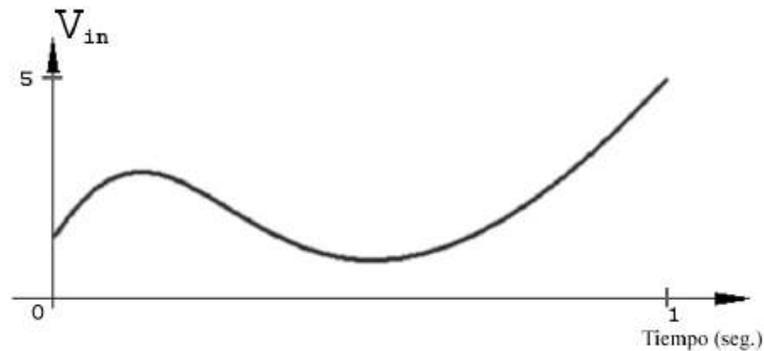


Figura 4.4.1 Muestra de una señal analógica.

El interés en digitalizar una señal puede surgir por varios motivos: el hecho de querer almacenarla en un soporte digital o transmitirla digitalmente para poder reconstruirla, poder tratar con programas los valores analógicos que dé un sensor, etc.

Acotando la señal en un intervalo de tiempo y unos valores mínimos y máximos de tensión se deberá de tener en cuenta dos factores fundamentales a la hora de almacenar dicha señal en un formato adecuado que pueda almacenarse digitalmente (con ceros y unos): se tiene que muestrear (figura 4.4.2) y cuantificar.

El muestreo implica que tenemos que coger una muestra de la señal cada T segundos ya que no hay memoria suficiente capaz de almacenar los infinitos puntos de una señal en un intervalo cualquiera de tiempo. En el ejemplo de las figuras se ha acotado un segundo de tiempo y 5 V de tensión de entrada analógica del PIC.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

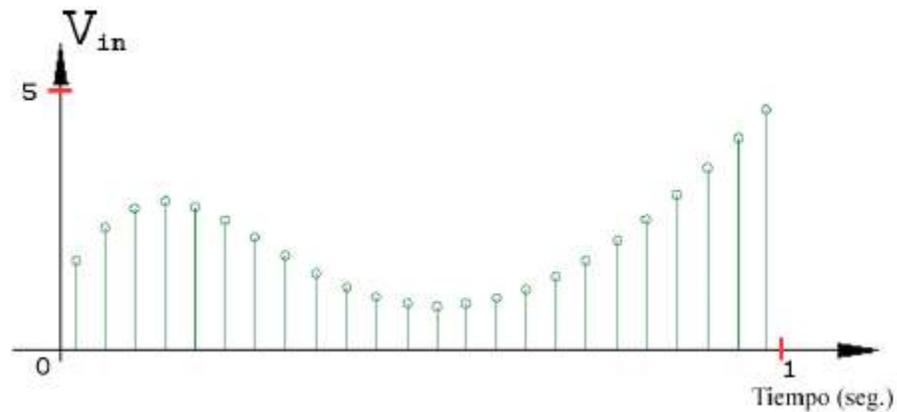


Figura 4.4.2 Gráfica de muestras en un intervalo de un segundo.

La cuantificación (figura 4.4.3) surge por el mismo motivo que el muestreo pero para el eje de ordenadas: una vez que se tiene una muestra, su amplitud puede tomar infinitos valores, se debe redondear entre unos valores fijos a lo largo de ese eje. Estos valores van a depender del número de bits que se vayan a almacenar para cada muestra, por ejemplo, en la imagen se cogen 4 bits y con ellos se pueden formar 16 combinaciones y por lo tanto 16 distintos niveles en los que se puede dividir el eje. El PIC cuantifica con 10 bits luego son 1023 niveles.

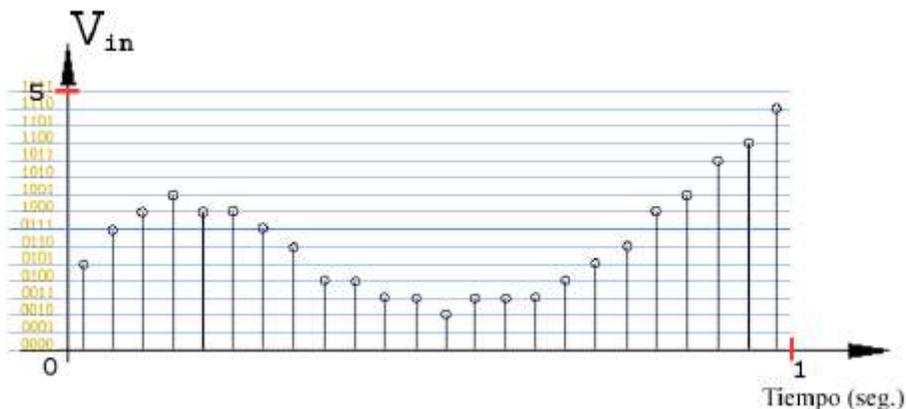


Figura 4.4.3 Señal cuantificada.

Tanto en un proceso como en el otro, se va a provocar una pérdida de la forma de la señal original y eso implica que se va a cometer un error de aproximación cuya

magnitud se puede calcular y se comenta con más detalle en el siguiente apartado.

4.4.1. MUESTREO

El parámetro fundamental del muestreo digital es el intervalo de muestreo (figura 4.4.1.1) Δ seg., o su equivalente *frecuencia de muestreo* $1/\Delta$ Hz. Lógicamente, cuanto menor sea Δ , mayor número de valores obtendremos de la señal, y viceversa. El resultado de dicho muestreo es la obtención de una serie discreta ordenada $\{x_r\} = \{x_0, x_1, x_3, \dots, x_r, \dots\}$, en la que el índice r indica la posición de orden temporal del valor x_r . Así, el valor de la señal original, en el tiempo $t = \Delta r$, $x(t)$, se representa por x_r .

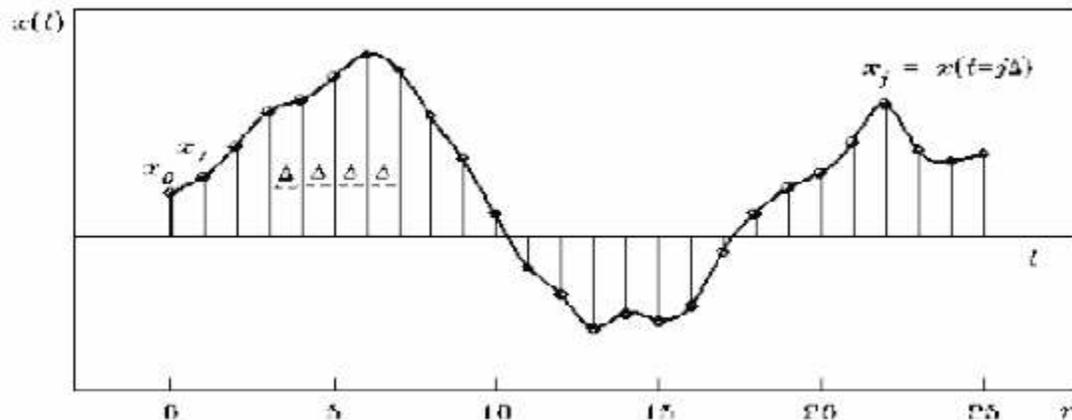


Figura 4.4.1.1 Señal muestreada.

Si aumentamos el número de muestras por unidad de tiempo, la señal muestreada se parecerá más a la señal continua. Respecto a esto, el criterio de Nyquist asegura que para que la señal muestreada contenga la misma información que la continua, la separación mínima entre dos instantes de muestreo debe ser $1/(2W)$, siendo W el ancho de banda de la señal. Dicho de otra forma, que la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual que $2W$.

4.4.2 CUANTIFICACIÓN

Se conoce como error de cuantificación (o *ruido*), a la diferencia entre la señal de entrada (sin cuantificar) y la señal de salida (ya cuantificada), interesa que el ruido sea lo más bajo posible.

Ej. Si se tiene una señal cualquiera, se quiere guardar en un archivo de 4 bits, se tendrán 24 niveles para cuantificarla, (8 para valores positivos, y 8 más para los negativos).

$$\Delta = (1/2^{N-1}) = \text{Intervalo de cuantificación} = 1/23 = 0.125$$

$$\text{Error: } -\Delta/2 < \text{error} > \Delta/2$$

Ej. A partir de la potencia de una señal, se puede saber que error se esta cometiendo.

$$\text{Potencia: } \langle \text{error}^2 \rangle = \Delta^2/12$$

Si se cuenta con una tarjeta de sonido, y trabaja a 16 bits por muestra:

$$\text{Cometerá un error de: } (1/2^{15})^2/12 = 1/(230 * 12)$$

4.4.3 TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN:

Como información complementaria, decir que existen diferentes tipos de cuantificación, cada uno de las cuales se amoldara a los datos que se están enviando.

- **Cuantificación uniforme:** la distancia entre los niveles de reconstrucción es siempre la misma. No hacen ninguna suposición acerca de la naturaleza de la señal a cuantificar, de ahí que no proporcionen los mejores resultados. Sin embargo, tienen como ventaja que son los más fáciles y menos costosos de implementar.

- **Cuantificación logarítmica:** incrementa la distancia entre los niveles de reconstrucción conforme aumenta la amplitud de la señal. Muy usada en señales de voz.

- **Cuantificación no uniforme:** si conocemos la función de la distribución de probabilidad, podemos ajustar los niveles de reconstrucción a la distribución de forma que se minimice el error cuadrático medio. Esto significa que la mayoría de los niveles de reconstrucción se den en la vecindad de las entradas más frecuentes y, consecuentemente, se minimice el error (ruido).

- **Cuantificación vectorial:** se basa en cuantificar según las muestras vecinas, resulta más eficiente cuantificar los datos en bloques de N muestras.

- **Cuantificadores de Vecino Más Cercano (Voronoi):** el proceso de codificación no necesita almacenar una descripción geométrica de las celdas, la codificación es mediante una comparación de distancias.

4.4.4 REGISTROS DEL MODULO DE A/D. [23]

El módulo de A/D tiene cuatro registros (figura 4.4.4.2). Estos registros son:

- **ADRESH:** Parte alta del resultado de la conversión
- **ADRESL:** Parte baja del resultado de la conversión
- **ADCON0:** Registro de Control 0 ; control del funcionamiento del conversor
- **ADCON1,** Registro de Control 1; configuración de los pines del puerto

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

En la siguiente figura se muestra el diagrama de pines del microcontrolador pic16f877.

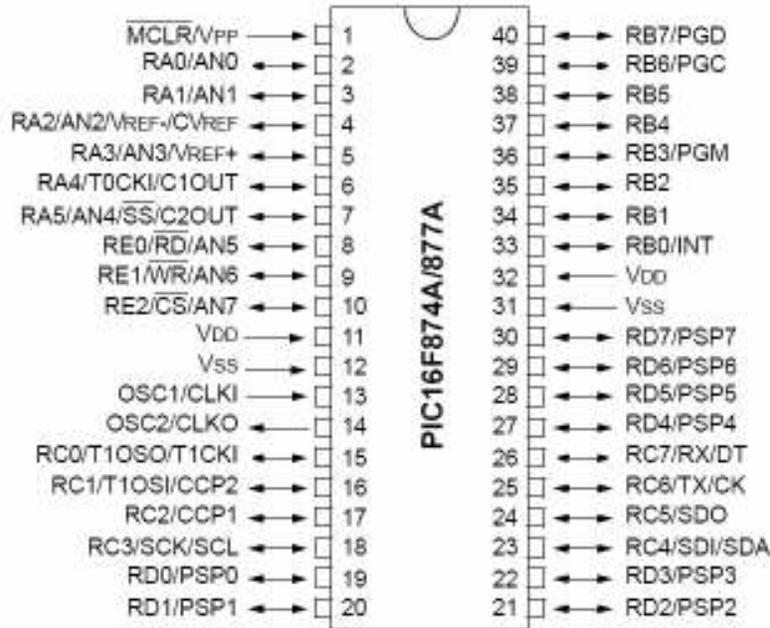


Figura 4.4.4.1 Diagrama de pines.

REGISTRO ADCON0 (DIRECCIÓN LFH)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Figura 4.4.4.2 Registro ADCON0

bit 7-6: **ADCS1:ADCS0**: En estos dos bits se hace la selección de la frecuencia de reloj para el Convertidor A/D.

00 Fosc/2

01 Fosc /8

10 Fosc/32

11 FRC (Procede del oscilador RC interno)

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

bit 5-3: **CH2:CH0**: Aquí se selecciona el canal analógico por donde entrará la señal a digitalizar. Este microcontrolador tiene 8 canales de entrada al Conversor A/D

000 = Canal 0, (RA0/AN0)

001 = Canal 1, (RA1/AN1)

010 = Canal 2, (RA2/AN2)

011 = Canal 3, (RA3/AN3)

100 = Canal 4, (RA4/AN4)

101 = Canal 5, (RA5/AN5)

110 = Canal 6, (RA6/AN6)

111 = Canal 7, (RA7/AN7)

bit 2: **GO/#DONE**. bit de estado de la conversión A/D

Si ADON=1

1= La conversión A/D está en marcha (mientras está a 1 se está realizando la conversión)

0 = La conversión ha finalizado. (el bit se pone a cero automáticamente por hardware cuando la conversión A/D finaliza) el resultado de la conversión aparece en ADRESH:ADRESL

bit 1: **No implementado**: Se lee como "0"

bit 0: **ADON**: bit de puesta en marcha

1 = El convertidor A/D está operativo

0 = El convertidor A/D está apagado y no consume corriente.

4.4.5 EL REGISTRO ADCON1

El registro ADCON1 (figura 4.4.5.1) es uno de los registros del convertidor A/D del PIC16F877, se trata de un registro de configuración de los pines del puerto, este registro se compone de 8 bits, los cuales se describe su función a continuación:

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Figura 4.4.5.1 Registro ADCON1

Bit 7: **ADFM**: Selecciona el formato del resultado de la conversión A/D

1 = >Pone en el registro **ARDESH** los seis bits de mayor peso a “0”

0 = >Pone los 6 bits de menor peso del registro **ADRESL** a “0”

Bits 6-4: No implementados: Se leen como cero

Bit 3-0: **PCFG3:PCFG0**: bits de configuración de los canales de entrada del convertidor A/D. Se utilizan para configurar las patillas como E/S digital o como entrada analógica de acuerdo con la siguiente tabla:

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	V _{REF+}	V _{REF-}	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0
0011	D	D	D	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	V _{REF+}	D	A	A	RA3	V _{SS}	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	V _{DD}	V _{SS}	0/0
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	2/2

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V _{DD}	V _{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF+}	D	A	RA3	RA2	1/2

A= Entrada Analógica; D = E/S Digital

Tabla 4.4.5.1 Entradas y salidas digitales.

4.4.6 LOS REGISTROS ADRESH Y ADRESL

El par de registros **ADRESH:ADRESL** (figura 4.4.6) se carga con el resultado de 10 bits de la conversión A/D. Este par de registros se extienden hasta 16 bits. El módulo A/D tiene la posibilidad de justificar el resultado de 10 bits dentro de los 16 bits de la pareja de registros. La selección del formato de justificación a la izquierda o derecha se realiza con el bit **ADFM (ADCON1)**. Los bits restantes (a los 10 de la conversión) se llenan con ceros.

Estos dos registros cuando el convertidor A/D está en OFF y no se utiliza, pueden utilizarse como dos registros de 8 bits de propósito general.

Cuando se completa la conversión A/D, el resultado se guarda en los registros y se pone a cero el bit **GO/DONE**

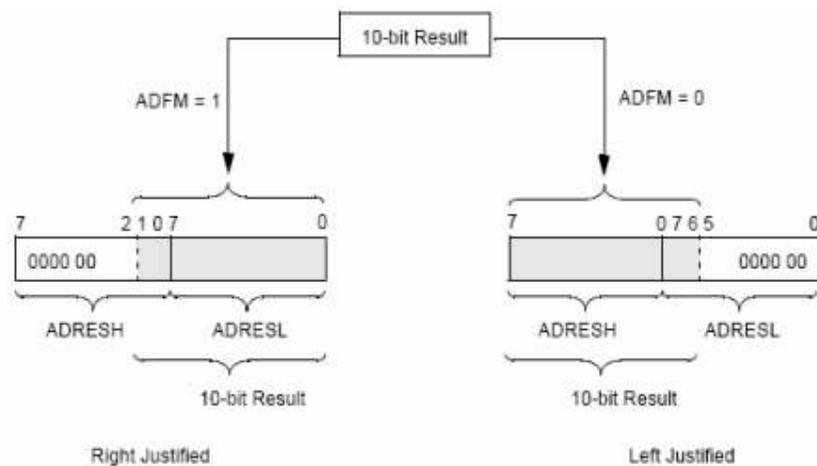


Figura 4.4.6 Registros ADRESH y ADRESL

Por lo tanto, los 16 bits que forman el registro **ARDESH-ARDESL** con **ADFM=1** tiene los 6 bits de mayor peso a cero y con **ADFM=0** los 6 bit de menor peso están a cero, en los 10 bits restantes se almacena el resultado de la conversión.

4.4.7 TEMPORIZACIÓN

Se conoce como 'Tad' el tiempo de conversión por bit. En la figura 4.4.7.1 se presenta un esquema de lo que sería el proceso medido en tiempo para asegurar que se ha realizado la conversión.

Este comienza a funcionar en el tiempo de adquisición cuando se activa el bit **GO/#DONE(ADCON0)**. El tiempo de adquisición es el tiempo que el módulo A/D esta conectado a un voltaje externo.

Pero debe tenerse en cuenta que para una nueva conversión se puede preparar la configuración del módulo conversor A/D y si se desea realizar una interrupción del módulo conversor A/D, se exige un mínimo de $2 \cdot TAD$ para realizar una nueva conversión.



Figura 4.4.7.1 Llamando a TAD.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

En la figura 4.4.7.2 se presenta una ecuación que nos resolverá el tiempo de adquisición asumiendo un error explicado anteriormente, para 1024 pasos del convertidor A/D. Estos cálculos han sido basados en el esquema de uso de la figura 4.4.7.3. TACQ sería el tiempo de respuesta del amplificador, TC sería el tiempo de carga del condensador (figura 4.4.7.4) que guarda el dato y TCOFF sería el coeficiente de temperatura (este sólo se utilizaría para temperaturas > 25°).

$$\begin{aligned} \text{TACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \text{Holding Capacitor} \\ &\text{Charging Time} + \text{Amplifier Settling Time} + \text{Holding Capacitor} \\ &\text{Charging Time} + \text{Temperature Coefficient} = \\ &= \text{TAMP} + \text{TC} + \text{TCOFF} \approx 19,72\mu\text{s} \end{aligned}$$

Figura 4.4.7.2 Ecuación TACQ.

CHOLD	=	120 pF
Rs	=	10 kΩ
Conversion Error	≤	1/2 LSB
VDD	=	5V → Rss = 7 kΩ
Temperature	=	50°C (system max.)
VHOLD	=	0V @ time = 0

Figura 4.4.7.3 Configuración para realizar cálculo de adquisición.

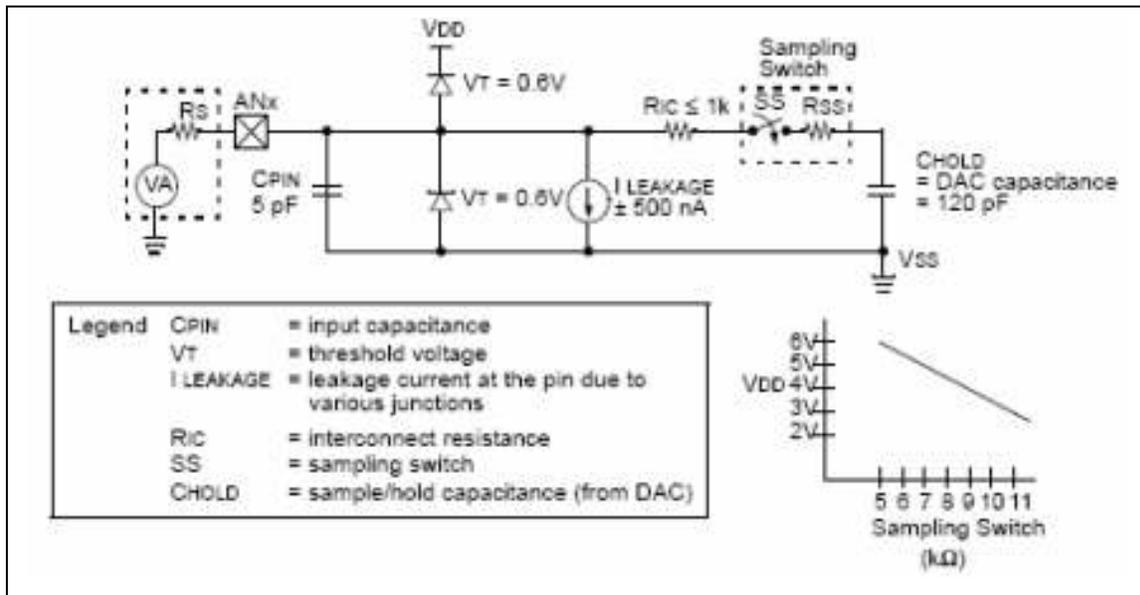


Figura 4.4.7.4 TC tiempo de carga del condensador

4.4.8 SELECCIÓN DEL RELOJ DEL CONVERTIDOR A/D

El convertidor A/D requiere un mínimo de 12 TAD para la conversión de los 10 bits, la señal de reloj para la conversión A/D se selecciona por software mediante los bits **ADCS1:ADCS0**

- 2 TOSC
- 8 TOSC
- 32 TOSC
- Oscilador interno RC (2-6 μs)

Para realizar conversiones correctas el reloj del convertidor A/D debe seleccionarse para asegurar un tiempo mínimo de TAD de 1,6 mS. La tabla 4.4.8.1 muestra los tiempos de TAD dependiendo de la señal de reloj del micro.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Fuente del reloj A/D		Frecuencia máxima del dispositivo
Operacion	ADCS1:ADCS0	Max
Fosc/2	00	1.25 MHz
Fosc/8	01	5 MHz
Fosc/32	10	20 MHz
RC ^(1,2,3)	11	Nota 1

Tabla4.4.8.1 Tiempos de TAD.

Nota.-

1. Si la fuente es el oscilador RC tiene un TAD típico de 4 μ s, pero puede variar entre 2 –6 μ s.
2. Cuando la frecuencia del dispositivo es mayor de 1MHz, la fuente del oscilador RC para la conversión A/D se recomienda sólo si se trabaja en el modo Sleep.
3. Para dispositivos de tensión mayores (LC), comprobar las características eléctricas

Sugerencia:

Una cosa a tener en cuenta, sería mantener las frecuencias máximas que se indican en la tabla, ya que, si por ejemplo se utiliza una frecuencia de 10 MHz entonces se tendrá que dividir por el mismo número que se utiliza una frecuencia de 20 MHz, por lo que se estará haciendo que el conversor trabajara mas despacio de lo que podría trabajar.

4.4.9 TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO

Si se pone a cero el bit **GO/#DONE** durante la conversión, se aborta la conversión actual.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

El par de registros no se modificarán parcialmente con los bits que se hayan completado hasta el momento. Es decir, los registros **ADRESH:ADRESL** seguirán conteniendo el valor de la última conversión completa (o el último valor que se haya escrito en **ADRESH:ADRESL**) después de abortar la conversión A/D, es requerido el TAD de espera para realizar la próxima adquisición. Después de 2 TAD de espera, la adquisición en cauce se comienza automáticamente.

En la figura 4.4.9.1, después de poner el bit **GO** a uno, la primera vez el segmento tiene un TCY mínimo y un TAD máximo.

Nota:

El bit **GO/#DONE** no debe ponerse a uno en la misma instrucción que se pone en **ON** el convertidor A/D.

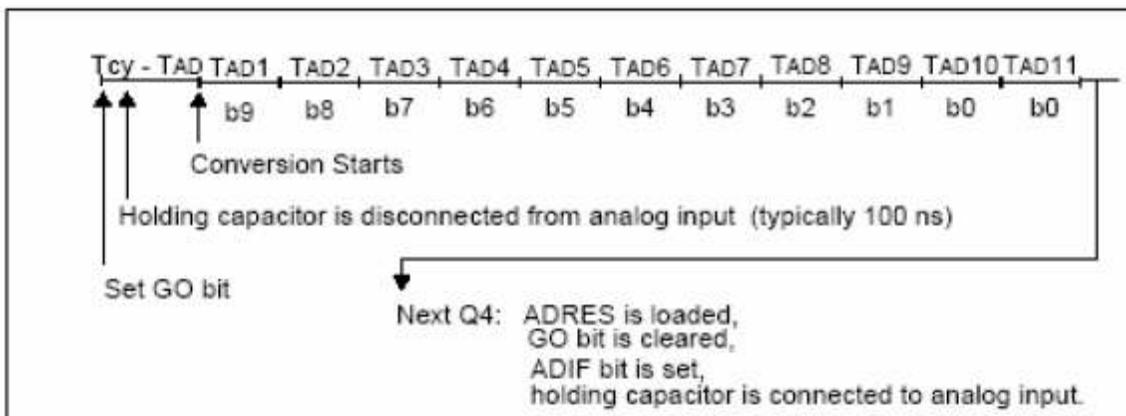


Figura 4.4.9.1 Poniendo bit GO a 1.

4.4.10 EJEMPLO DE CONVERSIÓN UTILIZANDO REF02

El conversor A/D necesita 2 tensiones de referencia para su funcionamiento, V_{ref+} y V_{ref-} . Dichas tensiones serán proporcionadas por el circuito REF02 (figura 4.4.10.1), ya que éste brinda tensiones muy exactas.

En este ejemplo no se utiliza V_{ref-} , entonces se conectan los 0V de REF02 directamente a tierra, lo más cerca posible a V_{SS} para evitar ruidos. (El sensor se coloca lo más cerca posible de V_{SS}).

El conversor se utiliza para comparar los niveles de tensión con la salida analógica del sensor y así poder muestrearla y cuantificarla. La tensión proporcionada por el REF02 se conecta al conversor A/D por la patilla AN3.

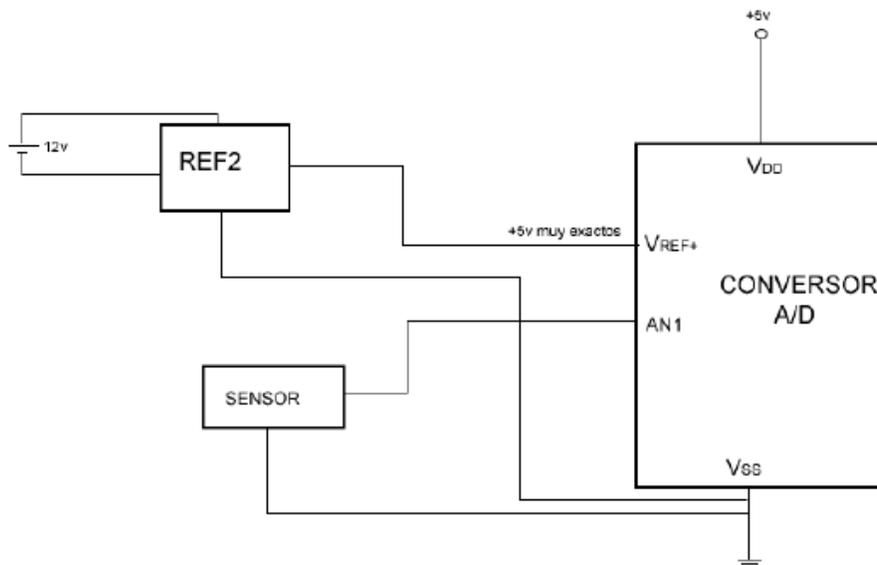


Figura 4.4.10.1 tensión de referencia para un convertidor A/D.

4.4.11 PROGRAMA EN C, DE CONFIGURACIÓN DEL CONVERTOR A/D

El programa esta estructurado en cuatro funciones:

- 🌐 **Inicia_AD():** Esta función inicializa los registros ADCON0 y ADCON1. En ADCON0 se define una frecuencia de $F_{osc}/32$, ya que se va a utilizar una frecuencia de 20Mhz., el canal por defecto será el 0 y se pone el convertor en marcha. En ADCON1 se define que el bit de mayor peso sea ADRESH y se dice que dos entradas sean analógicas.
- 🌐 **Selecciona _A/D():** Esta función sirve para seleccionar el canal por donde se va hacer la conversión (hay 8 canales posibles), en este caso se elige el canal 1 que es donde se conecto el sensor.
- 🌐 **Arranca_A/D():** Esta función pone el bit GO/DONE en 1 para que comience a convertir.
- 🌐 **Leer_A/D:** Esta función devuelve el resultado de la conversión, en este caso lo devuelve en la variable resultado

```
#include<16f877.h>
#include<reg.h>
#fuses HS, NOWDT, NOPROTECT, NOPUT, NOBROWNOUT, NOLVP
#use delay(clock=20000000)
void inicia_AD(void);
void selecciona_AD(unsigned num);
void arranca_AD(void);
void leer_AD(void);
main()
{
```

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

```
unsigned canal;
unsigned long resultado;
inicia_AD();           //llama a la funcion inicia_AD
while(1)
{
    canal=0b00000001;           //indica el canal de entrada
    selecciona_AD(canal);       //llama a la función selecciona_AD dándole
    como parámetro el canal
    arranca_AD();              //llama a dicha función
    resultado=leer_AD();        //leer_AD devuelve el valor de la conversión y lo
    guarda en resultado
}
}
void inicia_AD(void)
{
    ADCON0=0b10000001;         //Fosc/32 ; channel 0
    ADCON1=0b10000101;         // 4 últimos bits dependiendo de la tabla 1
}
void selecciona_AD(unsigned num)
{
    char aux;
    aux=ADCON0 & 0b11000111;   //pone a 0 el canal de conversión
    ADCON0=aux | (num<<3);      //activa el canal que se pasa
}
void arranca_AD(void)
{
    ADGO=1;                    //pone en marcha el conversor
}
void leer_AD(void)
{
```

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

```

char alto,bajo;
long total;
while (ADGO);           //aquí espera a que acabe de convertir
bajo= ADRESL;
alto = ADRESH;
total= (long)alto<<8 | bajo;           //Hace una or de bajo y de alto convertido
a long y
desplazado 8 bits.
return(total);
}
    
```

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	V _{REF+}	V _{REF-}	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0
0011	D	D	D	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	V _{REF+}	D	A	A	RA3	V _{SS}	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	V _{DD}	V _{SS}	0/0
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF+}	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V _{DD}	V _{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF+}	D	A	RA3	RA2	1/2

A= Entrada Analógica; D = E/S Digital

Tabla 4.4.11.1 Configuración de entradas y salidas digitales.

4.5 TEOREMA DE MUESTREO DE NYQUIST-SHANNON [25]

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, también conocido como teorema de muestreo de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, criterio de Nyquist o teorema de Nyquist, es un teorema fundamental de la teoría de la información, de especial interés en las telecomunicaciones.

Este teorema fue formulado en forma de conjetura por primera vez por Harry Nyquist en 1928 ("*Certain topics in telegraph transmission theory*"), y fue demostrado formalmente por Claude E. Shannon en 1949 ("*Communication in the presence of noise*").

El teorema trata con el muestreo, que no debe ser confundido o asociado con la cuantificación, proceso que sigue al de muestreo en la digitalización de una señal y que no es reversible (se produce una pérdida de información en el proceso de cuantificación, incluso en el caso ideal teórico, que se traduce en una distorsión conocida como error o ruido de cuantificación y que establece un límite teórico superior a la relación señal-ruido). Dicho de otro modo, desde el punto de vista del teorema, las muestras discretas de una señal son valores exactos que no han sufrido redondeo o truncamiento alguno sobre una precisión determinada.

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.

Dicho de otro modo, la información completa de la señal analógica original que cumple el criterio anterior está descrita por la serie total de muestras que resultaron del proceso de muestreo. No hay nada, por tanto, de la evolución de la señal entre muestras que no esté perfectamente definido por la serie total de muestras.

Si la frecuencia más alta contenida en una señal analógica $x_a(t)$ es $F_{max} = B$ y la señal se muestrea a una tasa $F_s > 2F_{max} \equiv 2B$, entonces $x_a(t)$ se puede recuperar totalmente a partir de sus muestras mediante la siguiente función de interpolación:

$$g(t) = \frac{\sin 2\pi Bt}{2\pi Bt}$$

Así, $x_a(t)$ se puede expresar como:

$$x_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_a\left(\frac{n}{F_s}\right) g\left(t - \frac{n}{F_s}\right)$$

donde $x_a\left(\frac{n}{F_s}\right) = x_a(nT) \equiv x(n)$ son las muestras de $x_a(t)$.

Hay que notar que el concepto de ancho de banda no necesariamente es sinónimo del valor de la frecuencia más alta en la señal de interés. A las señales para las cuales esto sí es cierto se les llama señales de banda base, y no todas las señales comparten tal característica (por ejemplo, las ondas de radio en frecuencia modulada).

Si el criterio no es satisfecho, existirán frecuencias cuyo muestreo coincide con otras (el llamado aliasing).

4.5.1 ERRORES DE INTERPRETACIÓN FRECUENTES CON RELACIÓN AL TEOREMA Y AL PROCESO DE MUESTREO

Es un error frecuente y extendido creer que, una vez satisfechos los criterios del teorema (criterios de Nyquist), la calidad de la reconstrucción de una señal en toda su banda (lo que excluye el uso de técnicas de Noise Shaping para alterar selectivamente la distorsión consecuencia del proceso de cuantificación en

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

señales completamente digitalizadas, esto es, muestreadas y cuantificadas) es función de la tasa de muestreo empleada en el proceso de muestreo. Esto es totalmente falso desde la perspectiva matemática del teorema y un error, una vez consideradas las limitaciones prácticas, en el ámbito práctico de la física o la ingeniería. El proceso de muestreo (que no debe ser confundido con el de cuantificación) es, desde el punto de vista matemático perfectamente reversible, esto es, su reconstrucción es exacta, no aproximada. Dicho de otro modo, desde el punto de vista matemático al que se refiere el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, la reconstrucción de una señal periódica con componentes de hasta 10 kHz es idéntica tanto si se obtiene de una tasa de muestreo de 25000 muestras por segundo como de una de 50000 muestras por segundo. Matemáticamente, no aporta nada incrementar la tasa de muestreo una vez que esta cumple el criterio de Nyquist: la información necesaria para su reconstrucción total existe desde que la tasa cumple el criterio. También son errores frecuentes y extendidos, relacionados directamente con lo expuesto en este párrafo, creer que los puntos que resultan del proceso de muestreo se unen en la reconstrucción mediante rectas (interpolación lineal) formando dientes de sierra en las frecuencias representadas por pocas muestras o que existe un proceso de cálculo que realiza la interpolación de manera predictiva. En resumen, el teorema de muestreo demuestra que toda la información de una señal contenida en el intervalo temporal entre dos muestras cualesquiera está descrita por la serie total de muestras siempre que la señal registrada sea de naturaleza periódica (como lo es el sonido) y no tenga componentes de frecuencia igual o superior a la mitad de la tasa de muestreo; no es necesario inventar o predecir la evolución de la señal entre muestras. En la práctica y dado que no existen los filtros analógicos pasa-bajo ideales, se debe dejar un margen entre la frecuencia máxima que se desea registrar y la frecuencia de Nyquist (frecuencia crítica) que resulta de la tasa de muestreo elegida (por ejemplo, para CD-Audio la frecuencia máxima de los componentes a registrar y reproducir es de 20 kHz y la frecuencia crítica de la tasa de 44100 muestras por segundo empleada es de 22,05 kHz; un margen del 10%

aproximadamente para esta aplicación). Pero este margen es una necesidad que resulta de las limitaciones físicas de un filtro de reconstrucción (o filtro antialiasing) real, y no una consideración que contemple (o deba contemplar) el teorema, que pretende establecer el marco teórico (matemático) en el que se deben fundamentar los profesionales que tratan con el procesamiento digital de señales. En ocasiones se emplean técnicas de sobremuestreo para la reconstrucción de una señal con objeto de aumentar artificialmente este margen y permitir el uso de filtros de fase lineal (retardo de grupo nulo) en la banda pasante y, en general, más sencillos y económicos con pendientes de atenuación más suaves. En todo caso, tanto el margen como el uso de técnicas de sobremuestreo son recursos de ingeniería para tratar restricciones prácticas que en nada invalidan la demostración y el contenido del teorema. El teorema es, de hecho, el marco analítico sobre el que las restricciones reales (no ideales) deben ser estudiadas.

4.6 PUERTO SERIAL o RS-232 [7]

El puerto serial, también conocido por el estándar que lo norma, el RS-232, fue creado con el único propósito de contar con una interfaz entre los equipos terminales de datos (Data Terminal Equipment, DTE), y el equipo de comunicación de datos (Data Communications Equipment, DCE) empleando intercambio serial de datos binarios. De esta forma el equipo terminal de datos es el extremo cliente de los datos y el equipo de comunicación de datos es el dispositivo que se encarga de la unión entre los terminales, tal como un módem o algún otro dispositivo de comunicación.

El RS-232 fue originalmente adoptado en 1960 por la Asociación de Industrias de la Electrónica, conocida también por sus siglas en inglés EIA, Electronic Industries Association. El estándar evolucionó a través de los años y en 1969 la tercera revisión, el RS-232C, fue el estándar elegido por los fabricantes de computadoras personales compatibles con IBM. En 1987 se adoptó la cuarta revisión, el RS-232D, también conocida como EIA-232D. En esta nueva revisión se agregaron 3

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

líneas de prueba. El estándar RS-232 original especifica una velocidad máxima de 19,200 baudios y una longitud máxima de cable en 50 pies, aproximadamente 16 metros, lo cual resultaba conveniente para la época; sin embargo el paso del tiempo y la evolución de la tecnología obligaron el aumento de estos parámetros, emergiendo el RS422 y el RS485, que utilizan líneas balanceadas para eliminar algunos problemas que se presentan a mayores velocidades de transmisión.

La mayoría de los equipos que implementan puertos RS-232 utilizan un conector DB-25 aún cuando la documentación original del estándar no especifica un conector en especial, la mayoría de las computadoras comenzaron a utilizar el conector DB-9 dado que 9 son los conectores que se requieren para la comunicación asíncrona.

Es necesario notar que el documento especifica la cantidad de postes o terminales y su asignación, 20 para las señales, 3 reservados y 2 sin uso. Normalmente el conector macho es en el lado de la terminal y el conector hembra es en el de comunicaciones, aún si éste no es el caso común.

RS-232 (también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio en serie de datos binarios entre un DTE (Equipo Terminal de datos) y un DCE (*Data Comunicación Equipment*, Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras situaciones en las que también se utiliza la interfaz RS-232.

En particular, existen ocasiones en que interesa conectar otro tipo de equipamientos, como pueden ser computadoras. Evidentemente, en el caso de interconexión entre los mismos, se requerirá la conexión de un DTE (*Equipo Terminal de Datos*) con otro DTE.

El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DE-9), más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC).

4.6.1 CONEXIONES (DESDE EL DTE)

En la siguiente tabla se muestran las señales RS-232 más comunes según los pines asignados:

Señal		DB-25	DB-9 (TIA-574)	EIA/TIA 561	Yost	RJ-50	MMJ
Tierra Señalada	G	7	5	4	4,5	6	3,4
Transmisión de Datos	TD	2	3	6	3	8	2
Recepción de Datos	RD	3	2	5	6	9	5
Terminal de Datos Lista	DTR	20	4	3	2	7	1
Datos Listos para Enviar	DSR	6	6	1	7	5	6
Solicitud de Envío	RTS	4	7	8	1	4	-
Autorización de Envío	CTS	5	8	7	8	3	-
Detector de Portadora	DCD	8	1	2	7	10	-
Detector de Llamada	RI	22	9	1	-	2	-

Tabla 4.6.1.1 Conexiones desde el DTE.

4.6.2 CONSTRUCCIÓN FÍSICA

La interfaz RS-232 está diseñada para distancias cortas, de unos 15 metros o menos, y para unas velocidades de comunicación bajas, de no más de 20 Kb. A pesar de ello, muchas veces se utiliza a mayores velocidades con un resultado aceptable. La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal Simplex, half duplex o full duplex.

4.6.3 TIPOS DE COMUNICACIÓN

4.6.4 COMUNICACIÓN SÍNCRONA

Es aquélla en donde los dispositivos de envío y recepción de la comunicación son sincronizados utilizando un reloj que cronometra con precisión el tiempo que separa cada bit. Al verificar el tiempo el dispositivo receptor puede determinar si un bit se ha perdido o si un bit extra, usualmente inducido eléctricamente, ha sido introducido en el flujo de bits. Cualquiera de los dispositivos pierde la señal de tiempo la comunicación es terminada.

4.6.5 COMUNICACIÓN ASÍNCRONA

El otro método, el utilizado en las computadoras, consiste en agregar marcadores dentro del flujo de bits para ayudar a seguir cada bit de datos. al introducir un bit de inicio que indica el inicio de un corto flujo de datos, la posición de cada bit puede ser determinado cronometrando los bits a intervalos regulares, enviando bits de inicio al comienzo de cada flujo de 8 bits los dos sistemas pueden no estar sincronizados por una señal de reloj, lo único que es importante es que ambos sistemas estén configurados a la misma velocidad. Cuando el dispositivo receptor de la comunicación recibe el bit de inicio comienza un temporizador de corto tiempo. Al mantener los flujos cortos no hay suficiente tiempo para que el reloj salga de sincronía. Este método es conocido como comunicación asíncrona

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

debido a que las terminales de la comunicación no están sincronizados por una línea de señal.

Cada flujo de bits es separado en grupos de 5 a 8 bits llamados palabras. Usualmente en el ambiente de la computación se encuentran palabras de 7 y 8 bits, el primero es para acomodar todas las letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto en código ASCII, con un total de 127 caracteres. Las palabras de 8 bits son utilizadas para corresponder a un byte. Por convención, el bit menos significativo de la palabra es enviado primero y el más significativo al final. Durante la comunicación, el transmisor codifica cada palabra agregándole un bit de inicio al principio y 1 o 2 bits al final. Algunas ocasiones agregará un bit de paridad entre el último bit de la palabra y el primer bit de paro, esto es utilizado como verificación de integridad de datos. Al paquete de bits que se transmiten usualmente se le llama marco de datos.

Se pueden utilizar 5 tipos diferentes de bits de paridad:

- 🌐 Bit marcador de paridad siempre es un 1 lógico.
- 🌐 Bit de paridad de espacio siempre es un 0 lógico.
- 🌐 Bit de paridad par es puesto en 1 lógico si cuando al contar el número de bits en la palabra el resultado es par.
- 🌐 Bit de paridad non es puesto en 1 lógico si cuando al contar el número de bits en la palabra el resultado es non.
- 🌐 Marco sin bit de paridad, ó sin paridad, es cuando se elimina el bit de paridad del marco.

Según se conforme el marco de datos es como se referencia al marco mismo. Por ejemplo: Palabras de 8 bits, con paridad non y 1 bit de paro es conocido como 8N1, y la trama es como se muestra en la siguiente imagen.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

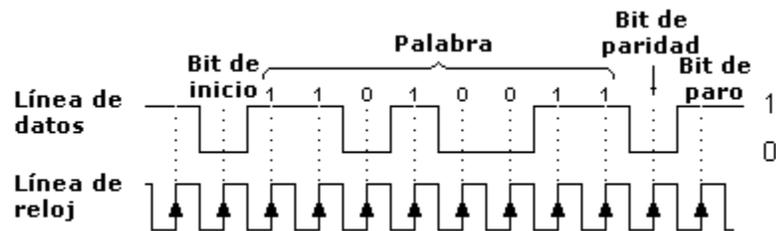


Figura 4.6.5 1 Marco de datos de comunicación serial asíncrona.

Otro factor importante de toda señal serial asíncrona es la velocidad de comunicación, que es la velocidad a la que los datos son transmitidos. Las velocidades a las que se envía la información comienzan en los 50 bits por segundo (bps) y casi de manera estándar se van duplicando 50, 100, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200.... hasta 384,000.

La comunicación serial por módem telefónico sobre líneas de voz, alcanza únicamente hasta los 56,000 bps debido a restricciones técnicas de la propia línea de voz.

En un principio el control de software de los puertos seriales resultaba en una gran sobrecarga para el procesador, hasta los 19200 bps, ya que los transportes de datos estaban limitados a 8 y 16 bits. Con la llegada de los transportes de datos MCA, EISA, VLBUS y PCI, llegó la ventaja de la posesión de transporte de datos y el acceso directo a memoria, elevando la velocidad de transmisión y eliminando la sobrecarga del procesador.

Al eliminar la utilización del BIOS y controlando el puerto directamente se comenzaron a obtener velocidades de 115200 bps y superiores, especialmente con la llegada de puertos inteligentes que por sí mismos pueden controlar la comunicación.

Todo el esquema de comunicación serial cambió con la introducción del Bus Serie Universal, mejor conocido por las siglas de su nombre en inglés USB por Universal

Serial Bus en 1996, que en sí ya deja de ser un puerto convirtiéndose en un bus con todos los beneficios de esto.

4.6.6 TIPOS DE CANAL [6]

4.6.6.1 MODO SIMPLEX

En el que la transmisión de Datos es en un solo sentido, únicamente se envían datos del emisor al receptor. Los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE.

4.6.6.2 MODO HALF DUPLEX

En el que la transmisión de datos se realiza en ambos sentidos, se envían datos del emisor al receptor y viceversa, pero no al mismo tiempo. Los datos pueden viajar en una u otra dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo; luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección.

4.6.6.3 MODO FULL DUPLEX

Donde la transmisión de datos se realiza en ambos sentidos al mismo tiempo, se envían datos como se reciben por dos líneas diferentes.

4.6.7 LOS CIRCUITOS Y SUS DEFINICIONES

Las UART o U(S)ART (Transmisor y Receptor [Síncrono] Asíncrono Universal) se diseñaron para convertir las señales que maneja la CPU y transmitir las al exterior. Las UART deben resolver problemas tales como la conversión de voltajes internos del DCE con respecto al DTE, gobernar las señales de control, y realizar la transformación desde el bus de datos de señales en paralelo a serie y viceversa. Debe ser robusta y deberá tolerar circuitos abiertos, cortocircuitos y escritura

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

simultánea sobre un mismo pin, entre otras consideraciones. Es en la UART en donde se implementa la interfaz. Para los propósitos de la RS-232 estándar, una conexión es definida por un cable desde un dispositivo al otro. Hay 25 conexiones en la especificación completa, pero es muy probable que se encuentren menos de la mitad de éstas en una interfaz determinada. La causa es simple, una interfaz full duplex puede obtenerse con solamente 3 cables. Existe una cierta confusión asociada a los nombres de las señales utilizadas, principalmente porque hay tres convenios diferentes de denominación (nombre común, nombre asignado por la EIA, y nombre asignado por el CCITT). En la siguiente tabla 4.6.7.1 se muestran los tres nombres junto al número de pin del conector al que está asignado (los nombres de señal están desde el punto de vista del DTE (por ejemplo para Transmit Data los datos son enviados por el DTE, pero recibidos por el DCE):

PIN	EIA	CCITT	E/S	Función DTE-DCE
1	CG	AA 101	---	Chassis Ground
2	TD	BA 103	->	Transmit Data
3	RD	AA 104	<-	Receive Data
4	RTS	CA 105	->	Request To Send
5	CTS	CB 106	<-	Clear To Send
6	DSR	CC 107	<-	Data Set Ready
7	SG	AB 102	---	Signal Ground
8	DCD	CF 109	<-	Data Carrier Detect
9*			<-	Pos. Test Voltaje
10*			<-	Neg. Test Voltaje
11				(no tiene uso)
12+	SCDC	SCF 122	<-	Sec. Data Car. Detect
13+	SCTS	SCB 121	<-	Sec. Clear To Send

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

14+	SBA 118		->	Sec. Transmit Data
15#	TC	DB 114	<-	Transmit Clock
16+	SRD	SBB 119	<-	Sec. Receive Data
17#	RC	DD 115	<-	Receive Clock
18				(no tiene uso)
19+	SRTS	SCA 120	->	Sec. Request To Send
20	DTR	CD 108,2	->	Data Terminal Ready
21*	SQ	CG 110	<-	Signal Quality
22	RI	CE 125	<-	Ring Indicador
23*	DSR	CH 111	->	Data Rate Selector
		CI 112	->	Data Rate Selector
24*	XTC	DA 113	->	Ext. Transmit Clock
25*			->	Busy

Tabla 4.6.7.1 Pines del RS-232.

En la tabla, el carácter que sigue a los de número de pin:

- 🌐 Raramente se usa (*).
- 🌐 Usado únicamente si se implementa el canal secundario (+).
- 🌐 Usado únicamente sobre interfaces sincrónicas (#).

También, la dirección de la flecha indica cuál dispositivo, (DTE o DCE) origina cada señal, a excepción de las líneas de tierra (---).

La característica especial del RS-232, y que lo hiciera popular en el mundo de las computadoras es su diseño simple, en el cual los datos viajan como voltajes referidos a una tierra común, haciendo factible que pueda ser utilizado para vínculos síncronos como SDLC, HDLC, Frame Relay y X.25, además de la transmisión síncrona de datos.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

A continuación se enumeran las señales especificadas en el estándar RS232. Cada señal es identificada por sus letras, el equivalente V.24 (CCITT), número de poste en un conector DB-25 y DB-9 y el nombre de la señal. Las letras de los circuitos asociados a cada señal están caracterizados por la siguiente tabla:

- ⓐ A, circuito común.
- ⓑ B, circuito de señal.
- ⓒ C, circuito de control.
- ⓓ D, circuito de cronometrización.
- ⓔ Si las letras están precedidas por una S, se trata de un canal secundario.

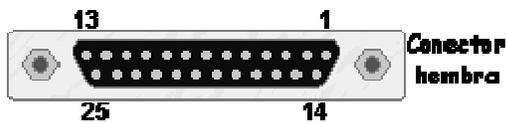


Figura 4.6.7.1 Conector DB25 hembra.

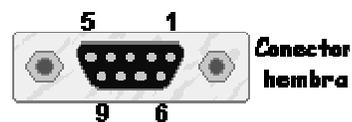


Figura 4.6.7.2 Conector DB9 hembra.

Circuito	Número de circuito V.24	Número de poste DB-25	Número de poste DB-9	Nombre de la señal.
AA	101	1	-	Protección a tierra
AB	102	7	5	Tierra
BA	103	2	3	Transmisión de datos (TX)
BB	104	3	2	Recepción de datos (RX)
CA	105	4	7	Solicitud de envío (RTS)
CB	106	5	8	Autorización de envío (CTS)
CC	107	6	6	Datos listos para enviar (DSR)
CD	108	20	4	Terminal de datos lista (DTR)

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

CE	125	22	9	Detector de llamada
CF	109	8	1	Detección de portadora (DCD)
CG	110	21	-	Detección de calidad de señal
CH / CI	111 / 112	23	-	Selector de velocidad de señal de datos.
DA	113	24	-	Cronómetro de la señal emisora (DTE)
DB	114	15	-	Cronómetro de la señal de transmisión del transmisor (DCE)
DD	115	17	-	Cronómetro de la señal del receptor
SBA	118	14	-	TX secundario
SBB	119	16	-	RX secundario
SCA	120	19	-	RTS Secundario
SCB	121	13	-	CTS secundario
SCF	122	12	-	Detector de portadora (CD) secundario
		9	-	Reservado Positivo de prueba
		10	-	Reservado Negativo de prueba
		11	-	S/C

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

		18	-	S/C
		25	-	S/C

Tabla 4.6.7.2 Tabla con los pines del puerto serial DB25 y DB9.

4.6.7.1 AA: PROTECCIÓN A TIERRA

Esta línea va conectada al neutro de la línea de alimentación del adaptador serial. No debería de ser utilizada como tierra de la señal, sino que debe de ir conectada al blindaje del cableado, si existe. Al ser implementada en ambos lados de la comunicación asegura que no hay grandes corrientes fluyendo en la tierra de la señal debido a un defecto de aislamiento o algún otro defecto en cualquier lado del cableado. Por otra parte, cuando dos dispositivos están separados por grandes distancias no debe de utilizarse debido a la diferencia de potencial que puede existir entre los equipos haciendo posible que pueda llevar una corriente importante como bucle a tierra. En cualquier caso, la falla de esta línea puede causar interferencia eléctrica.

4.6.7.2 AB: SEÑAL DE TIERRA

Esta es la tierra lógica que es utilizada como punto de referencia por todas las señales recibidas y transmitidas. Esta señal es indispensable y debe de estar presente para todas las comunicaciones.

4.6.7.3 BA: TRANSMISIÓN DE DATOS (TX)

Esta línea es utilizada para transmitir datos desde el DTE al DCE. Es mantenida en estado de 1 lógico cuando nada se transmite. La terminal comenzará a transmitir cuando un 1 lógico esté presente en las siguientes líneas:

🌐 Autorización de envío.

- 🌐 Terminal de datos lista.
- 🌐 Datos listos para enviar.
- 🌐 Detección de portadora.

4.6.7.4 BB: RECEPCIÓN DE DATOS

Este circuito es utilizado para recibir datos desde el DCE al DTE. La terminal comenzará a transmitir cuando un 1 lógico esté presente en las siguientes líneas:

- 🌐 Autorización de envío
- 🌐 Terminal de datos lista.
- 🌐 Datos listos para enviar.
- 🌐 Detección de portadora.

El estándar especifica que los niveles de salida son -5 a -15 volts para el 1 lógico y +5 a +15 volts para el 0 lógico, mientras que los niveles de entrada son -3 a -15 volts para un 1 lógico y +3 a +15 volts para un 0 lógico.

Esto asegura que los bits puedan ser leídos correctamente aún con grandes distancias entre la DTE y la DCE, especificados como 16.5 metros o 50 pies, aún cuando estas señales soportan mayores distancias dependiendo de la calidad del cableado y el blindaje.

4.6.7.5 CA: SOLICITUD DE ENVÍO (RTS)

En esta línea el DTE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DCE. El DCE revisa esta línea para conocer el estado del DTE y saber si puede enviar datos.

4.6.7.6 CB: AUTORIZACIÓN DE ENVÍO (CTS)

En este circuito el DCE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DTE.

4.6.7.7 CC: DATOS LISTOS PARA ENVIAR (DSR)

Cuando este circuito está en 1 lógico indica al DTE que el DCE está listo para enviar datos.

4.6.7.8 CD: TERMINAL DE DATOS LISTA (DTR)

Cuando ésta línea está en estado de 1 lógico se puede comenzar a enviar y recibir datos. Cuando esta línea está en nivel de 0 lógico, el DCE terminará la comunicación.

4.6.7.9 CF: DETECCIÓN DE PORTADORA DE DATOS (DCD)

En esta línea el DCE indica al DTE que ha establecido una línea portadora (una conexión) con un dispositivo remoto.

4.6.7.10 CE: INDICADOR DE LLAMADA (RI)

Esta línea es utilizada comúnmente por el software de comunicaciones cuando el dispositivo no está en modo de autor responder para indicarle que un dispositivo remoto está llamando. Esta señal es optativa cuando no se utiliza software que contestará la llamada automáticamente.

4.6.7.11 CG: CALIDAD DE LA SEÑAL (SQ)

Esta línea, raramente utilizada, sirve para indicar al DTE que la calidad de la señal es pobre o simplemente no es lo suficientemente buena para mantener una conexión.

4.6.7.12 CH: SELECTOR DE VELOCIDAD DE LA SEÑAL DE DATOS (DSRS)

En el caso de que un módem sea capaz de diversas velocidades de conexión, la DTE puede elegir la velocidad a la que se conecta. Usualmente esta señal se mantiene en un nivel de 0 lógico para seleccionar la máxima velocidad posible.

4.6.7.13 CI: SELECTOR DE VELOCIDAD DE LA SEÑAL DE DATOS (DSRSB)

Esta señal tiene la misma funcionalidad que la del circuito CH, variando en que en este caso el módem selecciona la velocidad a la que la DTE se comunica.

4.6.7.14 CIRCUITOS DE CRONÓMETRO

En modo sincrónico es necesario tener alguna forma de intercambiar señales de reloj. Estos son 3 circuitos de cronómetro utilizados en el protocolo del RS-232.

4.6.7.14.1 DA & DB: CRONÓMETRO DE SEÑAL DEL TRANSMISOR

🌐 DA: DTE hacia DCE (elemento reloj del DTE).

🌐 DB: DCE hacia DTE (elemento reloj del DCE).

Estos dos circuitos son utilizados para sincronizar el flujo de datos. La cronometría es dada por la DTE o la DCE pero nunca de ambos al mismo tiempo. Usualmente los datos son transmitidos al módem, o su propio reloj controla el circuito DB.

4.6.7.14.2 DD: CRONÓMETRO DE SEÑAL DEL RECEPTOR (DCE)

🌐 DD: DCE hacia DTE (elemento reloj del DCE).

Este circuito es utilizado para sincronizar los datos recibidos desde el DTE. La señal de reloj recibida en esta línea indica al DTE en qué instante debe muestrear los datos recibidos en la línea BB.

4.7 TABLA DE VERDAD DEL RS-232

Señal > +3v = 0

Señal < -3v = 1 <-3v>

La señal de salida usualmente oscila entre +12v y -12v. El punto cero entre +3v y -3v está diseñado para absorber ruido de la línea. En las diversas definiciones similares a RS-232, este punto cero puede variar, como en la V.10 en la que el punto cero está entre +0.3v y -0.3v. Muchos de los dispositivos RS-232 son sensibles a diferenciales de 1 volt o menos. Sobre los circuitos, todos los voltajes están con respecto a la señal de tierra.

Las convenciones que se usan son las siguientes:

Voltaje	Señal	Nivel Lógico	Control
+3 a +15	Espacio	0	On
-3 a -15	Marca	1	Off

4.7.1 Tabla de verdad del RS-232

Los valores de voltaje se invierten desde los valores lógicos. Por ejemplo, el valor lógico más positivo corresponde al voltaje más negativo. También un 0 lógico corresponde a la señal de valor verdadero o activada. Por ejemplo si la línea DTR está al valor 0 lógico, se encuentra en la gama de voltaje que va desde +3 a +15 V, entonces DTR está listo (*ready*).

El canal secundario a veces se usa para proveer un camino de retorno de información más lento, de unos 5 a 10 bits por segundo, para funciones como el envío de caracteres ACK o NAK, en principio sobre un canal half duplex. Si el módem usado acepta esta característica, es posible para el receptor aceptar o

rechazar un mensaje sin tener que esperar el tiempo de conmutación, un proceso que usualmente toma entre 100 y 200 milisegundos.

4.8 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE CADA CIRCUITO

Los siguientes criterios son los que se aplican a las características eléctricas de cada una de las líneas:

- ④ La magnitud de un voltaje en circuito abierto no excederá los 25 V.
- ④ El conductor será apto para soportar un corto con cualquier otra línea en el cable sin daño a sí mismo o a otro equipamiento, y la corriente de cortocircuito no excederá los 0,5 A.
- ④ Las señales se considerarán en el estado de MARCA, (nivel lógico “1”), cuando el voltaje sea más negativo que - 3 V con respecto a la línea de Signal Ground. Las señales se considerarán en el estado de ESPACIO, (nivel lógico “0”), cuando el voltaje sea más positivo que +3 V con respecto a la línea Signal Ground. La gama de voltajes entre -3 V y +3 V se define como la región de transición, donde la condición de señal no está definida.
- ④ La impedancia de carga tendrá una resistencia a DC de menos de 7000 Ω al medir con un voltaje aplicado de entre 3 a 25 V pero mayor de 3000 Ω o cuando se mida con un voltaje de menos de 25 V.
- ④ Cuando la resistencia de carga del terminador encuentra los requerimientos de la regla 4 anteriormente dicha, y el voltaje del terminador de circuito abierto está a 0 V, la magnitud del potencial de ese circuito con respecto a Signal Ground estará en el rango de 5 a 15 V.
- ④ El driver de la interfaz mantendrá un voltaje entre -5 a -15 V relativos a la señal de Signal Ground para representar una condición de MARCA. El mismo driver mantendrá un voltaje de entre 5 V a 15 V relativos a Signal Ground para simbolizar una señal de ESPACIO. Obsérvese que esta regla

junto con la Regla 3, permite 2 V de margen de ruido. En la práctica, se utilizan -12 y 12 V respectivamente.

- ⊕ El driver cambiará el voltaje de salida hasta que no se excedan 30 V/ μ s, pero el tiempo requerido a la señal para pasar de -3 V a $+3$ V de la región de transición no podrá exceder 1 ms, o el 4% del tiempo de un bit.
- ⊕ La desviación de capacitancia del terminador no excederá los 2500 pF, incluyendo la capacitancia del cable. Obsérvese que cuando se está usando un cable normal con una capacitancia de 40 a 50 F/Pie de longitud, esto limita la longitud de cable a un máximo de 50 Pies, (15 m). Una capacitancia del cable inferior permitiría recorridos de cable más largos.
- ⊕ La impedancia del driver del circuito estando apagado deberá ser mayor que 300Ω .

Existen en el mercado dos circuitos integrados disponibles, (los chips 1488 y 1489) los cuales implementan dos drivers y receptores TTL, (4 por chip), para una RS-232 de forma compatible con las reglas anteriores.

4.9 MAX232 (Conversor TTL - RS232) [1]

El MAX232 dispone internamente de 4 conversores de niveles TTL al bus standard rs232 y viceversa, para comunicación serie como los usados en los ordenadores y que ahora están en desuso, el Com1 y Com2.

Funcionamiento: El circuito integrado lleva internamente 2 conversores de nivel de TTL a rs232 y otros 2 de rs232 a TTL con lo que en total podremos manejar 4 señales del puerto serie del PC, por lo general las mas usadas son; TX, RX, RTS, CTS, estas dos ultimas son las usadas para el protocolo handshaking pero no es imprescindible su uso. Para que el max232 funcione correctamente deberemos de poner unos condensadores externos, todo esto lo podemos ver en la siguiente figura en la que solo se han cableado las líneas TX y RX que son las mas usualmente usadas para casi cualquier aplicación ver figura 4.9.1.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

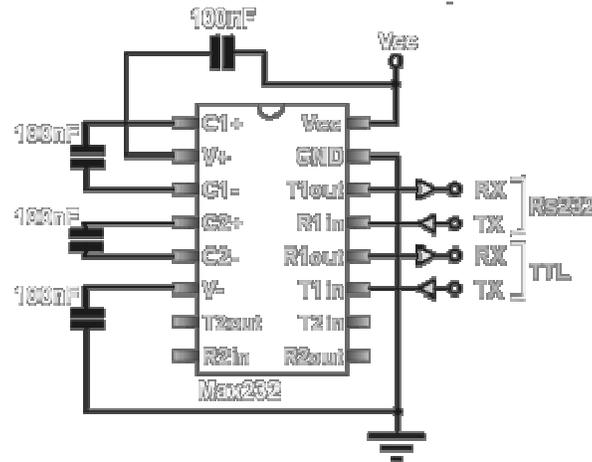


Figura 4.9.1. Usos: Este integrado es usado para comunicar un microcontrolador o sistema digital con un PC o sistema basado en el bus serie rs232. [17]

Este circuito integrado soluciona los problemas de niveles de voltaje cuando se requiere enviar señales digitales sobre una línea RS-232. El MAX232 se usa en aquellas aplicaciones donde no se dispone de fuentes dobles de +12V; por ejemplo, en aplicaciones alimentados con baterías de una polaridad. El MAX232 necesita solamente una fuente de +5V para su operación; un elevador de voltaje interno convierte el voltaje de +5V al doble de polaridad de +-12V. A continuación se muestra la estructura interna del MAX232 y algunas de sus características figura 4.9.2.

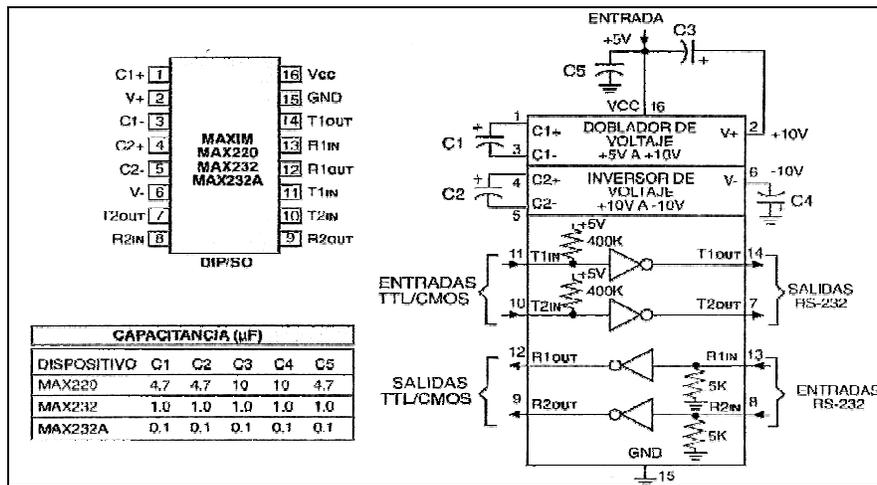
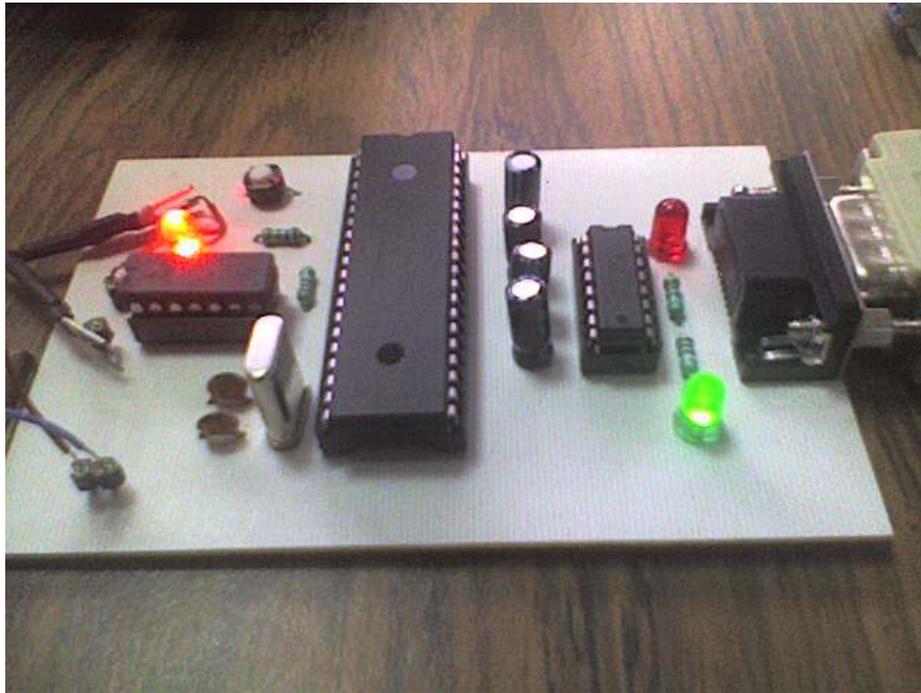


Figura 4.9.2 Circuito Integrado MAX232 [12]

DESARROLLO DE PROYECTO

CAPÍTULO V



OBJETIVO:

Automatizar las mediciones del compresor de baja presión que se encuentra en el laboratorio de termofluidos para que las mediciones obtenidas se muestren en la computadora mediante un instrumento virtual.

QUÉ SE OBTIENE

Se logra desarrollar un sistema embebido el cual adquiere las señales amplificadas de los sensores, las procesa, las envía a la computadora y las interpreta en forma de gráfica para su análisis posterior. El sistema desarrollado sólo soporta un sensor a la vez ya sea de temperatura o de presión.

5.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Automatizar en el laboratorio de termofluidos las mediciones del compresor de baja presión práctica 4 (compresores) por medio de termopares y sensores de presión digitales, para después graficarlas en la computadora.

5.2 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

El equipo que se desea automatizar se utiliza para realizar la práctica número 4 de la materia de termofluidos en la que se miden bajas presiones de 0 a 160 libras o 14 bares y una temperatura de 0 a 500 grados centígrados, las mediciones se hacen de una manera analógica utilizando instrumentos como termómetros de mercurio para la temperatura y manómetros para la presión, lo que queremos hacer es tomar esas mediciones y mostrarlas en un instrumento virtual.

5.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema como se propone hacer es la siguiente: se utilizará un acondicionador de señal AD594, las conversiones digitales analógicas se realizarán por medio del microcontrolador PIC16F877A y se establecerá la comunicación de la tarjeta con la computadora con el puerto serial para enviar las

lecturas o mediciones, la interpretación de esta información la hará el software LabVIEW de National Instruments.

5.4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el diseño del sistema nos basamos en la estructura fundamental para crear un sistema embebido, cada fase del ciclo de desarrollo es identificado con un bloque el cual esta desglosado.

A continuación se muestra el ciclo de desarrollo del sistema de adquisición de datos en la figura 5.4.1

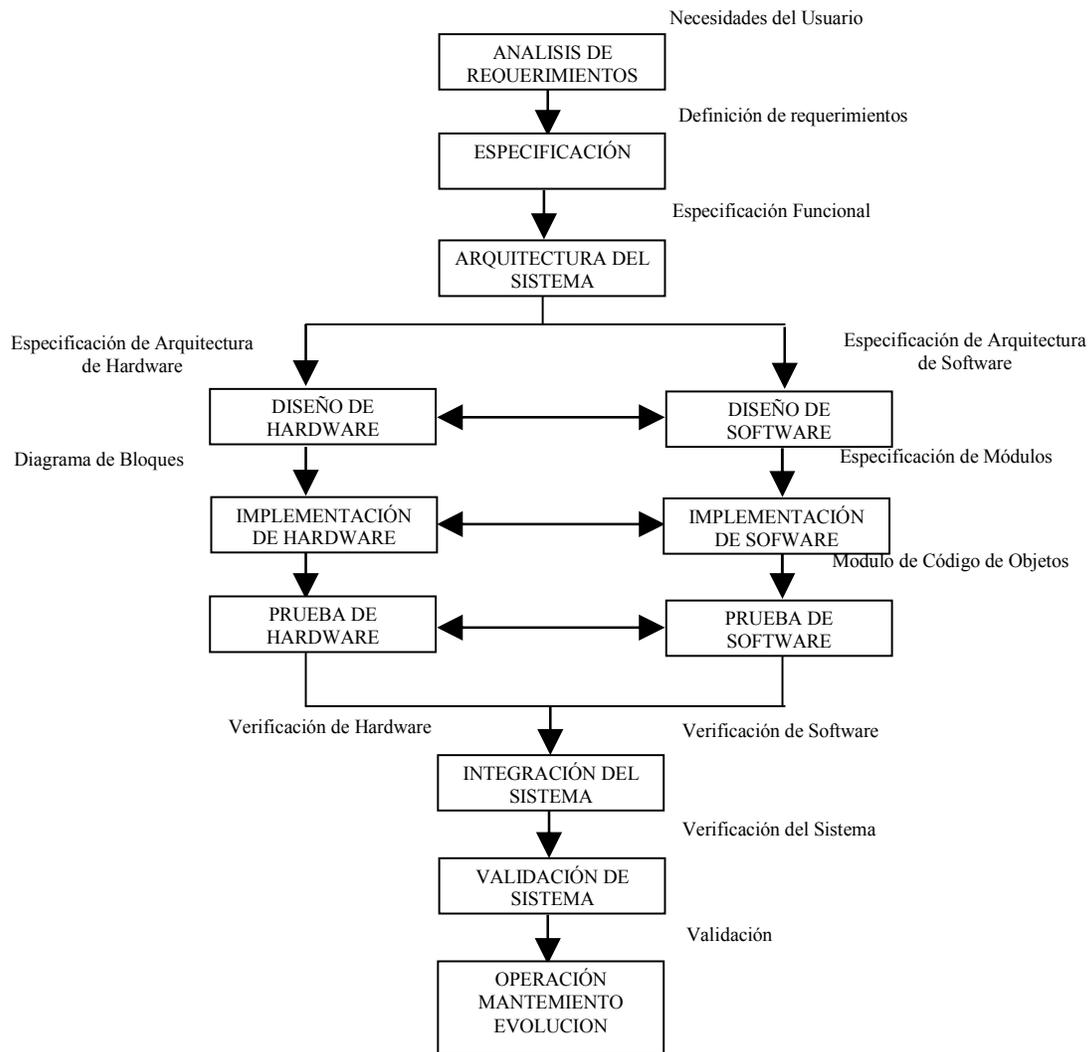


Figura 5.4.1 Ciclo de Desarrollo de un Sistema Embebido (Tomado de Short L.K.1998)[9]

5.5 DISEÑO DE HARDWARE

Se utilizó un termopar tipo J ya que éste permite medir temperaturas de 0 a 700 grados centígrados, este termopar se conectó a un amplificador en este termopar se obtiene una variación de pocos milivolts con respecto a la temperatura, la salida del termopar se conectó al AD594 (Diagrama 5.5.1) de acuerdo al diagrama que proporciona el fabricante, el diagrama del circuito es el siguiente:

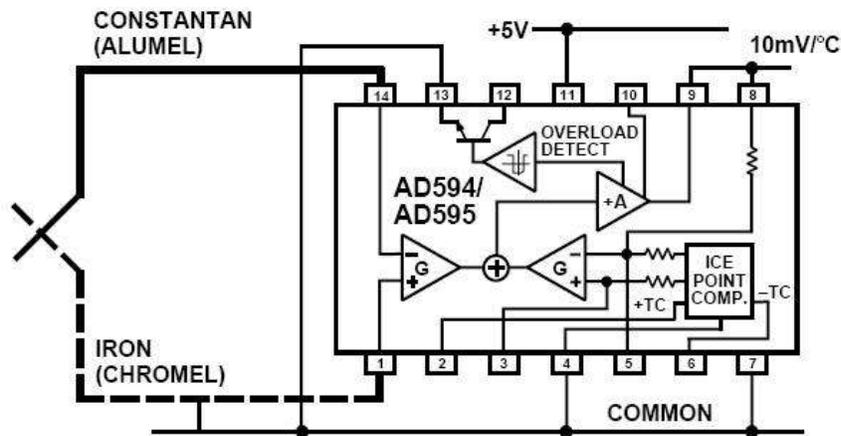


Diagrama 5.5.1 Conexiones internas integrado AD594. [12]

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

El circuito se monto en una protoboard para realizar las pruebas como se ve en la figura 5.6.2

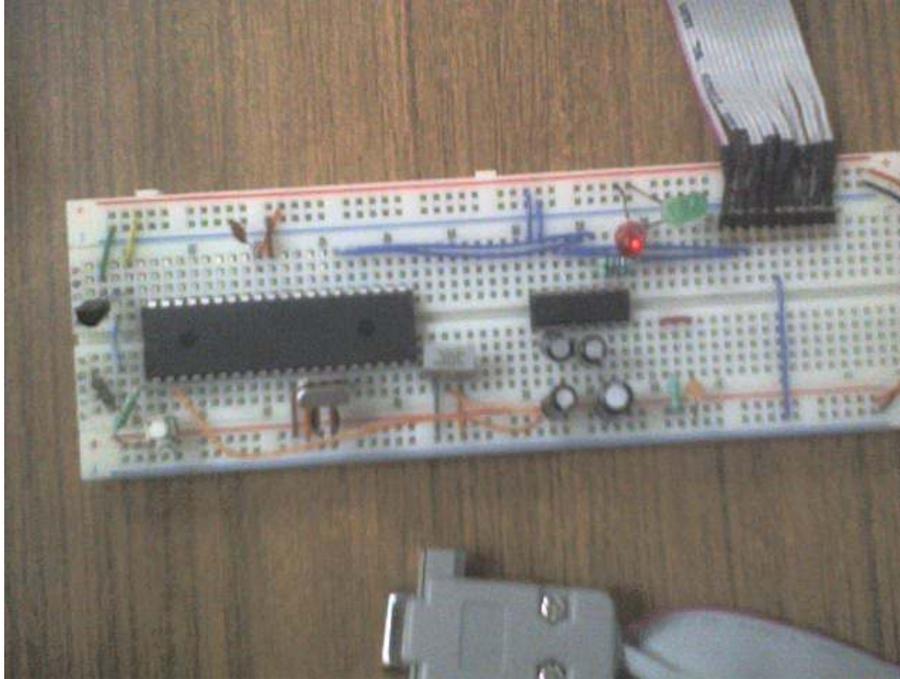


Figura 5.6.2 circuito del sistema de adquisición de datos montado en una protoboard

Una vez realizadas las pruebas y sabiendo que funciona correctamente se construyó una tarjeta uSCADA la cual se encargará de adquirir, procesar y enviar los datos a la pc.

La primera parte del circuito contiene el acondicionador de señal ad594 (Figura 5.6.3), las entradas en los pines 1 y 14 para el termopar, pin 11 conectado a vcc, pines 4, 7 y 13 a gnd, los pines 8 y 9 se conecta al termopar en base a las hojas de especificaciones del fabricante como salidas ver figura.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

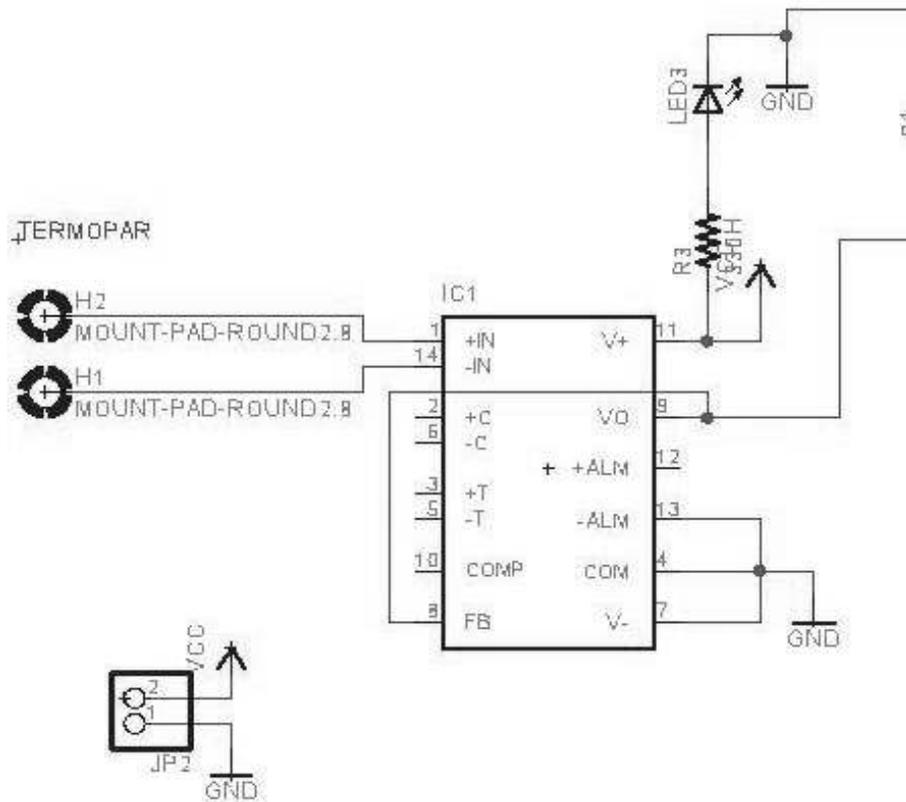


Figura 5.6.3 Acondicionador de señal AD594

La salida del acondicionador ad594 entra en el pin 2 (RA0), pin 13 y 14 contiene el oscilador de 4Mhz para la señal de reloj, el pin 1 tiene un botón para resetear el programa del pic, pines 31 y 12 se conectan a tierra, pines 32 y 11 se alimentan con vcc, los pines 25 y 26 corresponden a Transmisión (TX) y Recepción (RX) respectivamente anexándole dos leds indicadores para ver el funcionamiento de transmisión de los datos. Figura 5.6.4

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

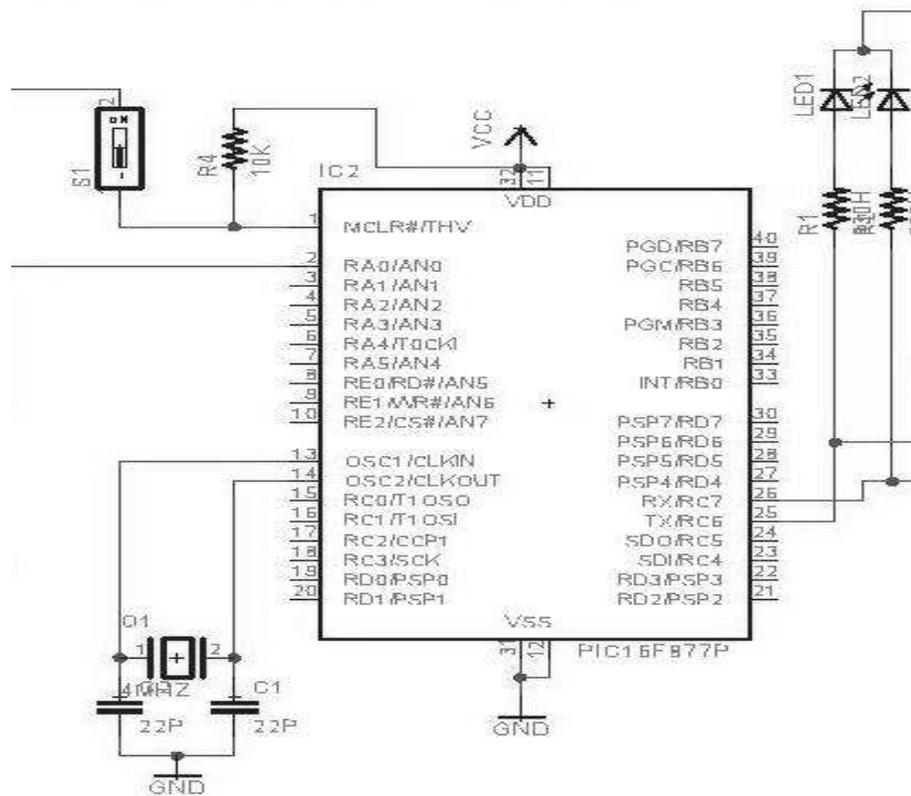


Figura 5.6.4 Conexión del pic16f877a

La tercera parte del circuito muestra la conexión del max232 el puerto serie de la pc, de los pines que se muestran el pin 11 y 12 serán las señales tx y rx que vienen del pic, las terminales 14 y 13 serán las señales tx y rx que van al puerto serie, se colocan cuatro capacitores electrolíticos de un valor de 1uf en los pines 1-3, 4-5, pin 2 con el capacitor a positivo y pin 6 con el capacitor a negativo esto como un estándar para poder hacer la conversión de señales TTL a RS-232 y viceversa, el led 1 y el led 2 solo son indicadores. Los datos que salgan del microcontrolador entrarán al MAX232 por el pin 11 y 12, en la figura también se muestra como se conecta el max232 con el DB9 (Figura 5.6.5), vemos que el pin 14 del max232 se conecta al pin 2 del DB9 y el 13 al 3, la terminal 5 del puerto serie se conecta a tierra.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

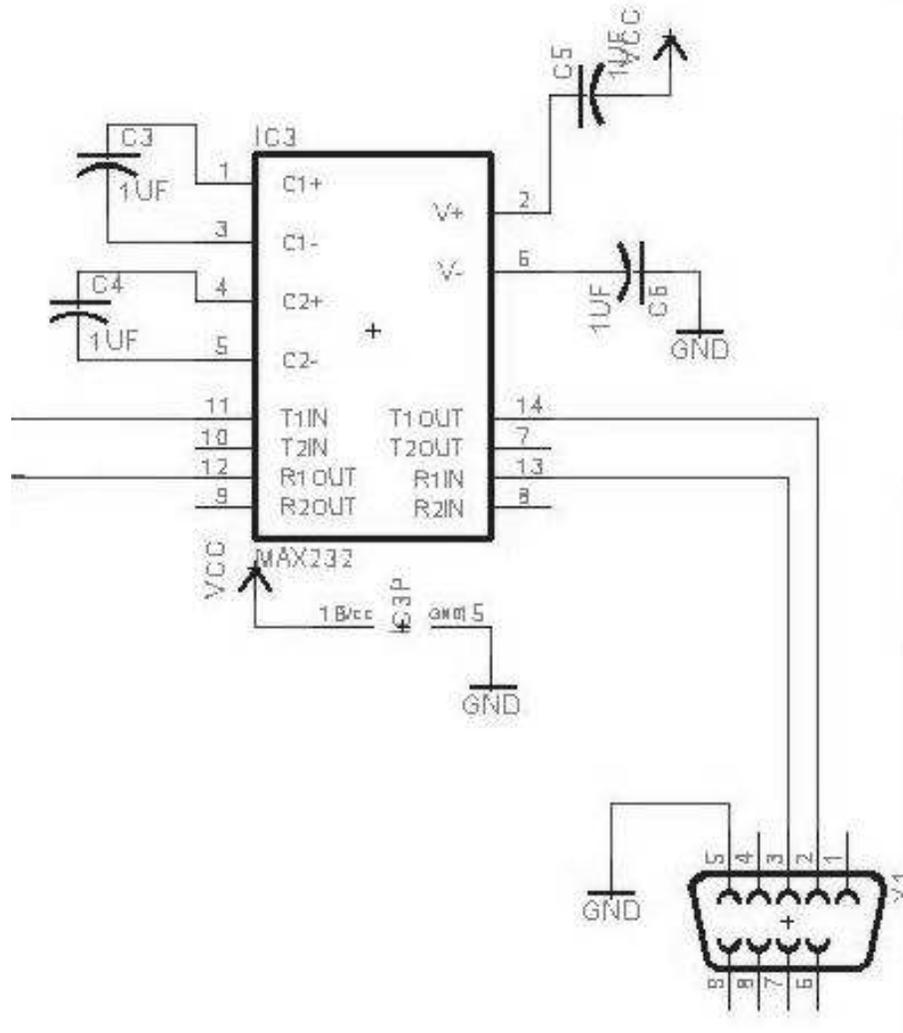


Figura 5.6.5 Conexión del MAX232 al conector DB9

Se utilizó la configuración del puerto serial de 9600 baudios de velocidad como lo propone la norma RS-232 para una óptima comunicación asíncrona sin pérdidas y se utilizó el conversor Analógico/Digital del microcontrolador pic16f877a para realizar las conversiones Analógica/Digital de la señales obtenidas del acondicionador de señal AD594, posteriormente esta información se manda al puerto serial con el circuito integrado MAX232, este integrado es de tecnología TTL (lógica transistor-transistor), esto quiere decir que las normas usadas para este tipo de tecnologías son diferentes al estándar RS-232, es decir llevar los niveles lógicos a los que son usados en el puerto serial.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

A partir del diagrama eléctrico se realizó el pcb del circuito (ver figura 5.6.6) para que esta parte quede fija para hacer pruebas posteriormente.

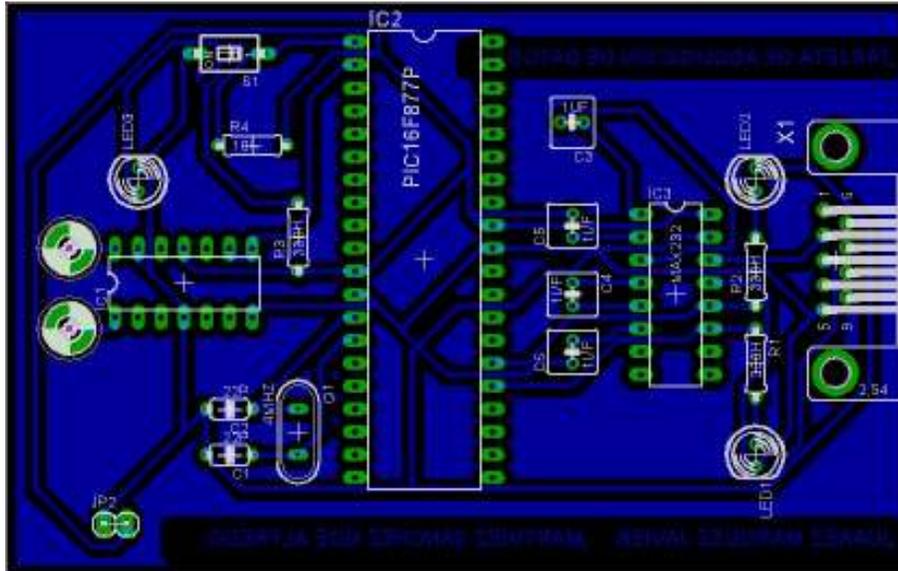


Figura 5.6.6 pcb del circuito de adquisición de datos

Una vez realizado el circuito se realizaron las pruebas y se estableció la comunicación con la PC a través de la Hyper Terminal de Windows, en donde se comprobó de manera exitosa que se enviaban datos a través del puerto serie.

5.7 PRUEBA DE HARDWARE - ELABORACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño de la tarjeta de adquisición de datos se realizó con el programa Eagle 4.11 en este programa se realizó el diagrama eléctrico y el pcb.

Una vez teniendo la pcb se imprime en papel couche que es un papel termosensible que contendrá la máscara del circuito. Posteriormente se mide la tableta fenólica en donde se colocará el pcb. Figura 5.7.1

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

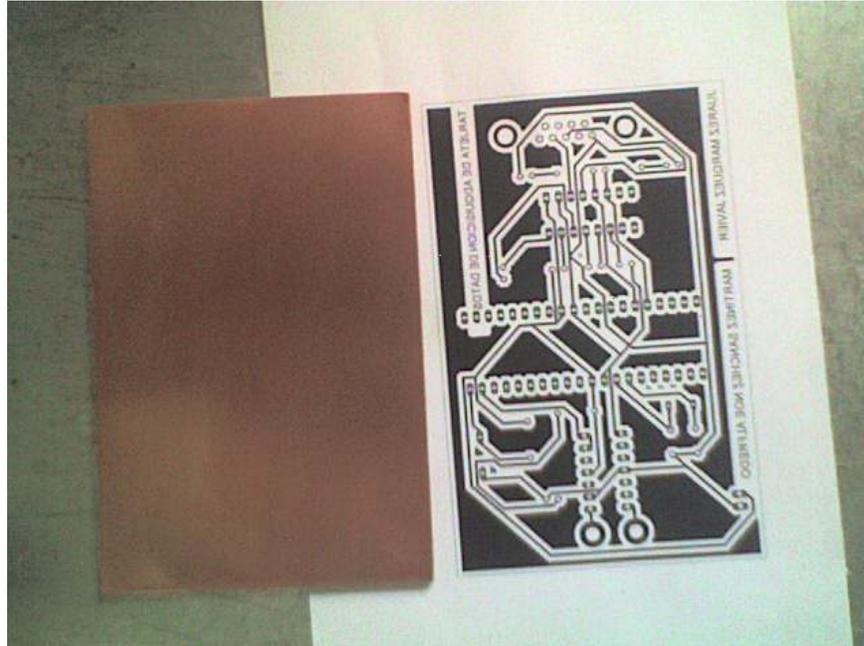


Figura 5.7.1 Placa fenólica y pcb

Ya que se tiene la placa fenólica del tamaño del pcb se debe limpiar la placa para liberarla de grasa y suciedad, con una lija fina de agua como se ve en la figura 5.7.2



Figura 5.7.2 Limpieza de la placa fenólica.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

El proceso anterior se hizo para que el toner del papel couche que contiene el pcb se adhiera perfectamente y se obtenga un buen acabado. El siguiente paso es pegar el papel del pcb con la tableta fenólica de cobre cara a cara. Para lograr que se adhiera el toner del pcb se le aplica calor con una plancha (Figura 5.7.3) a la placa durante un periodo de 15 minutos aproximadamente.



Figura 5.7.3 Aplicando calor a la placa con una plancha

Después que el pcb se pegue a la placa (Figura 5.7.4) ésta será introducida al agua para que el papel se hidrate en un tiempo aproximado de 2 horas y sea más fácil retirar el papel ver figura.

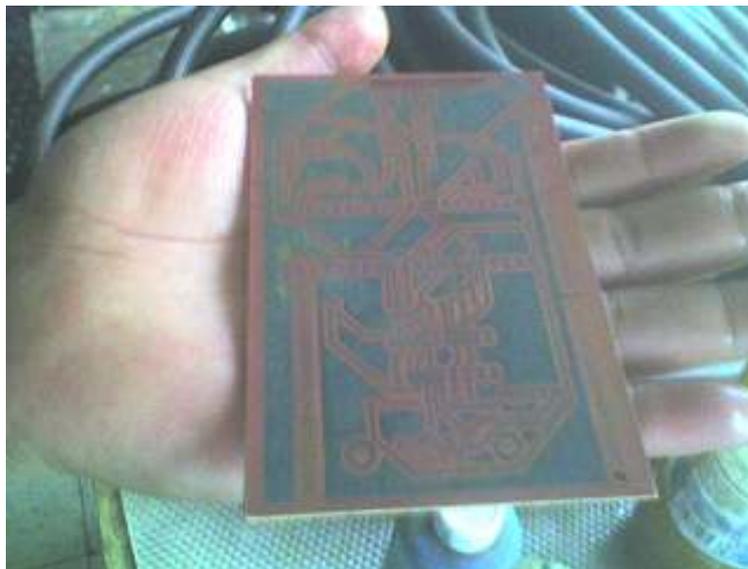


Figura 5.7.4 Máscara de tinta pegada a la tableta

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Teniendo la máscara en la tableta fenólica se somete a un proceso químico el cual consiste en sumergir la tableta en ácido férrico para eliminar las partes de cobre que no estén cubiertas por la tinta figura 5.7.5



Figura 5.7.5 Retirando el cobre con ácido férrico

El acabado de la placa para la eliminación de cobre tarda un tiempo aproximado de 30 minutos después de este periodo se saca la tableta y se limpia con agua figura 5.7.6



Figura 5.7.6 Limpieza del ácido después de retirado el cobre.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Ya que se eliminó el cobre de la tableta, ésta se limpia con thinner para retirar la máscara del pcb de tinta (Figura 5.7.7) y que sólo queden las pistas de cobre que se requieren.



Figura 5.7.7 Limpieza del toner que cubre al cobre.

El siguiente paso es taladrar la placa para colocar los componentes figura 5.7.8



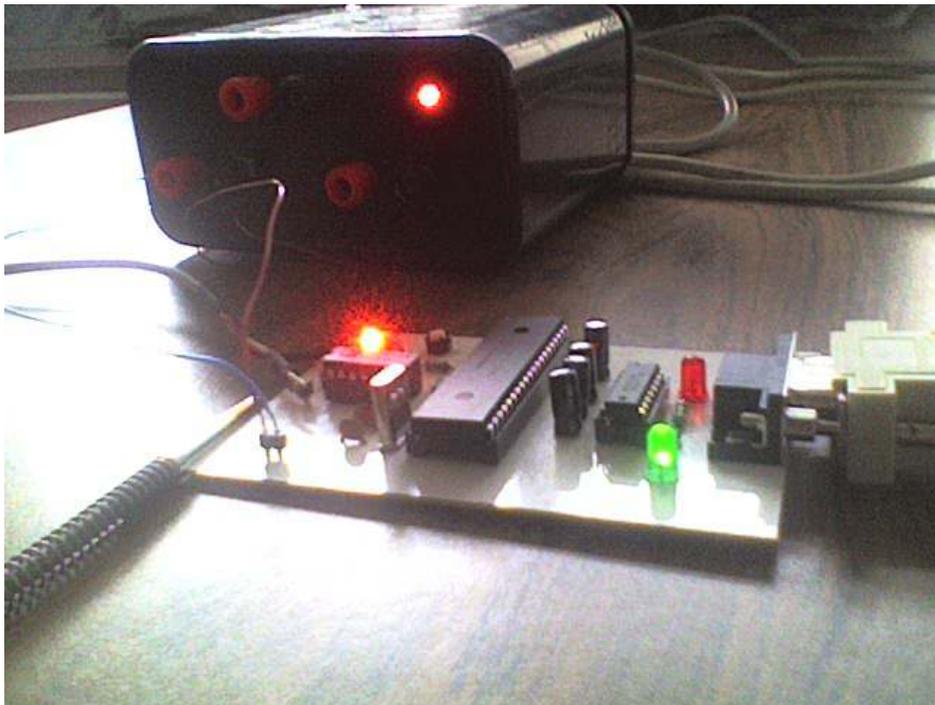
Figura 5.7.8 Perforado de la tableta.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

Por último se soldan los componentes y se realizan las pruebas para comprobar su funcionamiento. Figuras 5.7.9 y Figuras 5.7.10



Figuras 5.7.9 Tarjeta terminada y funcionando.



Figuras 5.7.10 Tarjeta enviando datos.

5.8 DISEÑO DE SOFTWARE - INTERFACE DE COMUNICACIÓN MÁQUINA a PC

Para configurar el microcontrolador se programa el pic en el ambiente de trabajo MPLAB de microchip como se ve en la figura 5.8.1, el primer paso es crear un proyecto para esto se utiliza la herramienta llamada Project wizard que se encuentra en el menú Project /Project wizard como se ve en la figura 5.8.2. Después de esto aparece un asistente el cual ayuda a configurar el proyecto (figura 5.8.3), seguidamente se selecciona el dispositivo que se va a programar en este caso se selecciona el pic16f877A (figura 5.8.4), el segundo paso es seleccionar la herramienta Ccsc.exe el compilador de lenguaje C con el que se va a trabajar (figura 5.8.5), el tercer paso es indicarle al asistente con que nombre y donde se va a guardar el proyecto (figura 5.8.6), el último paso en la configuración es añadir archivos que se vayan a incluir en el proyecto, se selecciona p16f877a.dev (figura 5.8.7) que es una librería que contiene las configuraciones del pic que se va a utilizar, como paso final en la configuración se revisa que los parámetros del proyecto estén correctos (figura 5.8.8).

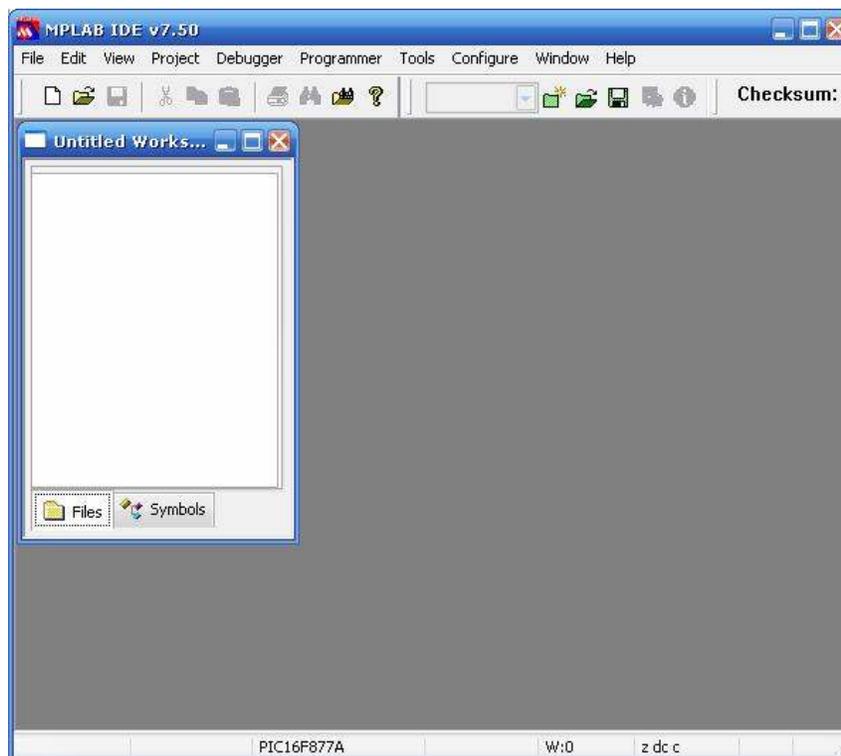


Figura 5.8.1 Ventana del MPLAB versión 7.5

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

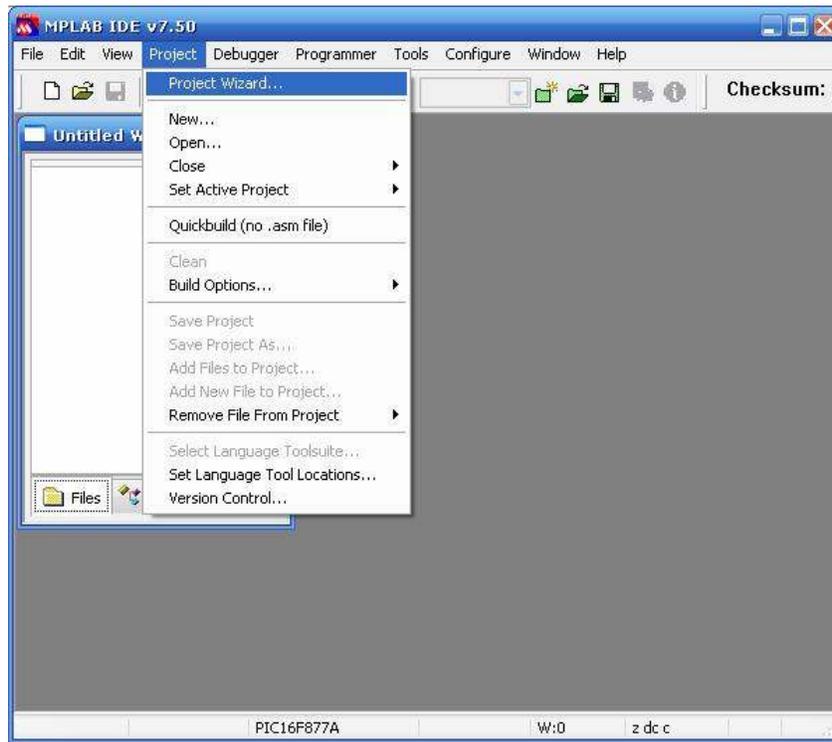


Figura 5.8.2 Utilizando el asistente para la realización del proyecto.

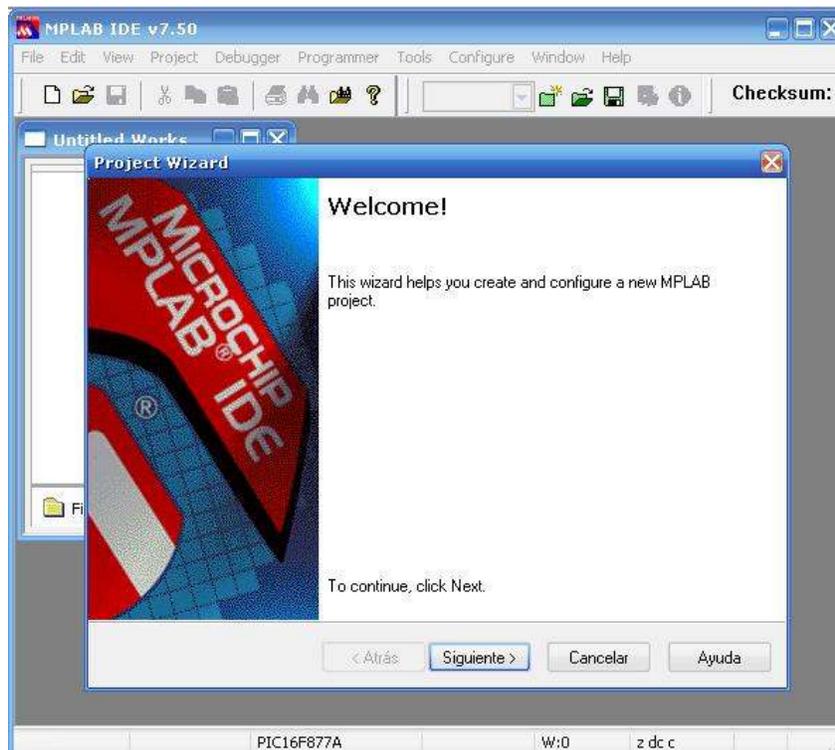


Figura 5.8.3 Asistente de proyecto.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

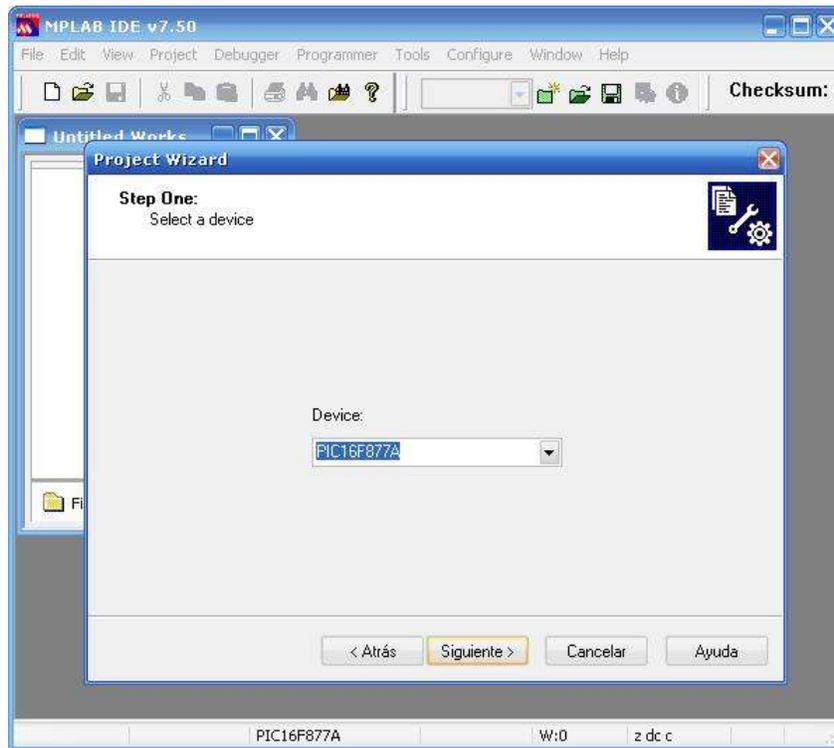


Figura 5.8.4 Seleccionando el dispositivo a utilizar.

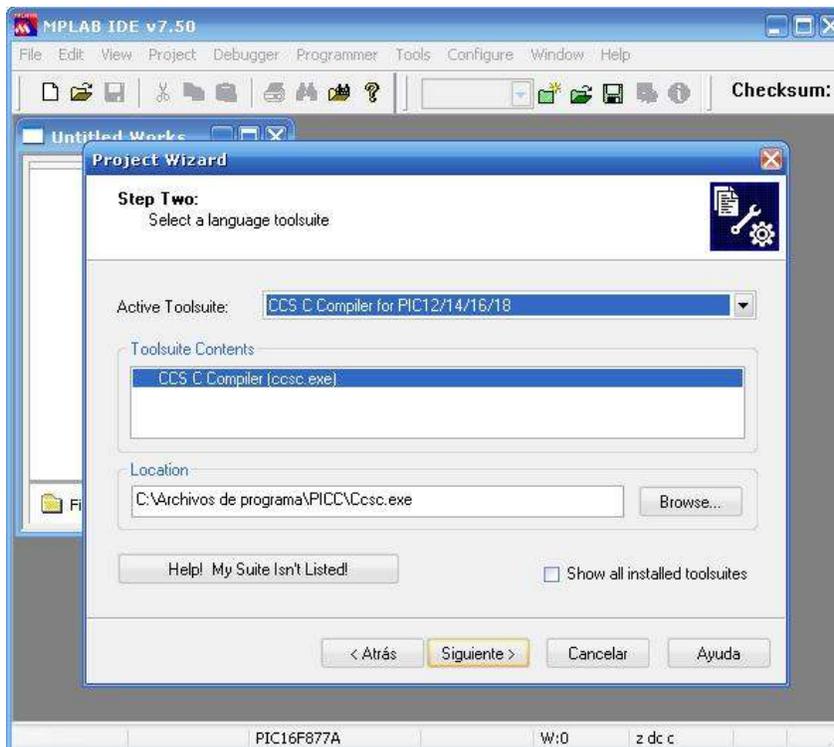


Figura 5.8.5 Seleccionando el compilador Ccsc.exe.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

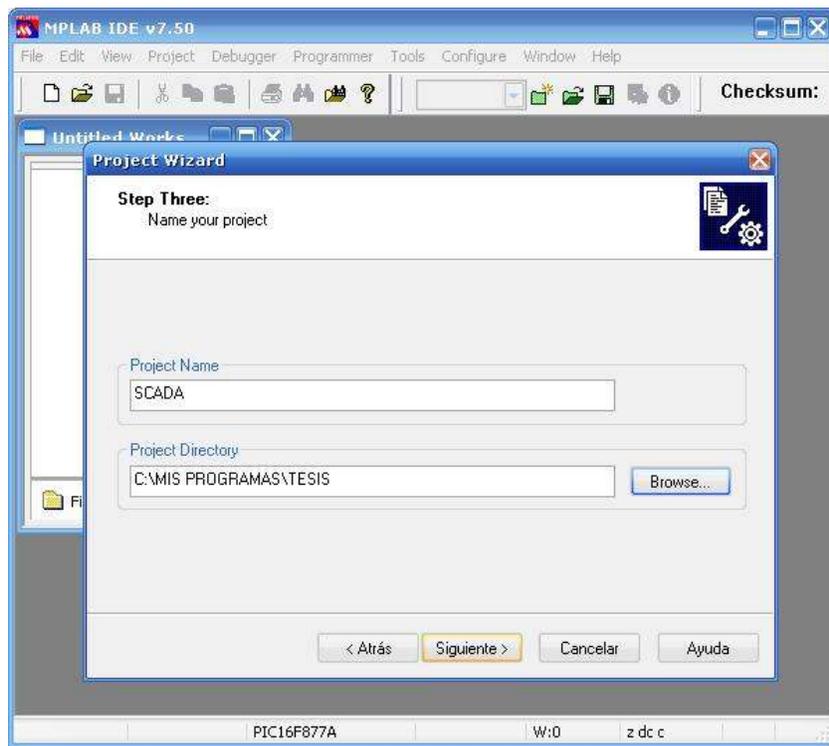


Figura 5.8.6 Nombre y lugar de donde se guarda el proyecto.

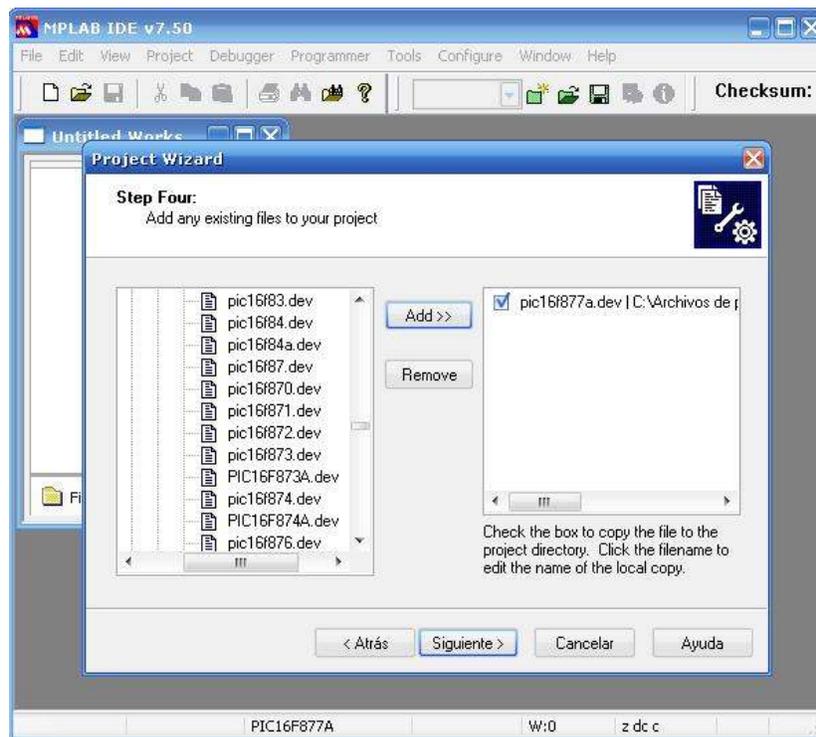


Figura 5.8.7 Agregando archivos dependiendo del pic a utilizar.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

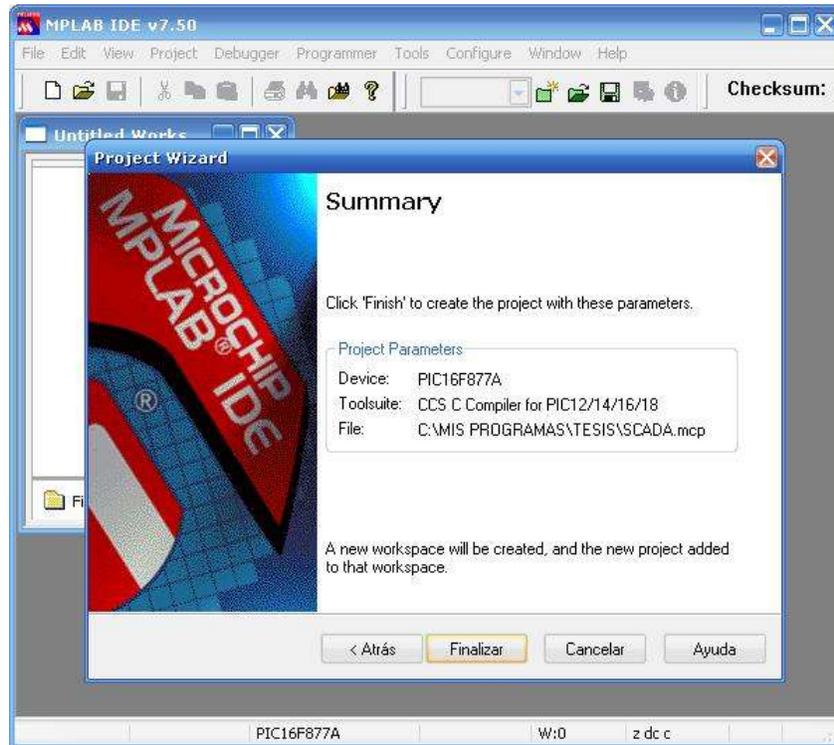


Figura 5.8.8 Verificación de parámetros.

La ventana del proyecto se ve como muestra la figura 5.8.9, para realizar la conversión analógica digital con el pic y después enviar estos datos a la computadora por el puerto serie, usamos un programa ejemplo que se encuentra en el programa Ccsc que se llama EX_ADMM (figura 5.8.10), el programa original se encuentra mas abajo este programa saca los valores mínimos y máximos de 30 muestras y después los envía a la pc.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

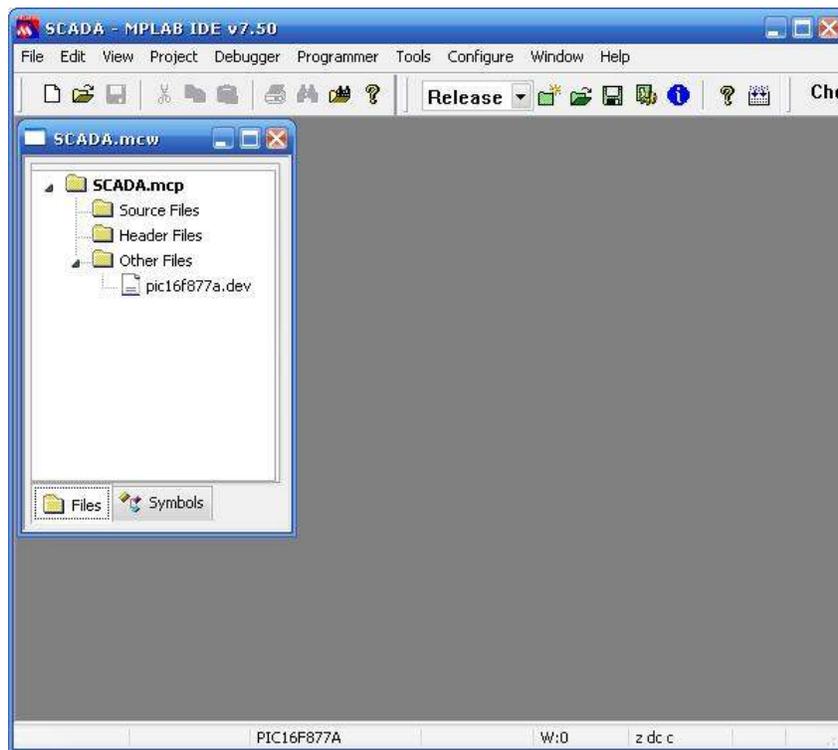


Figura 5.8.9 ventana de proyecto.

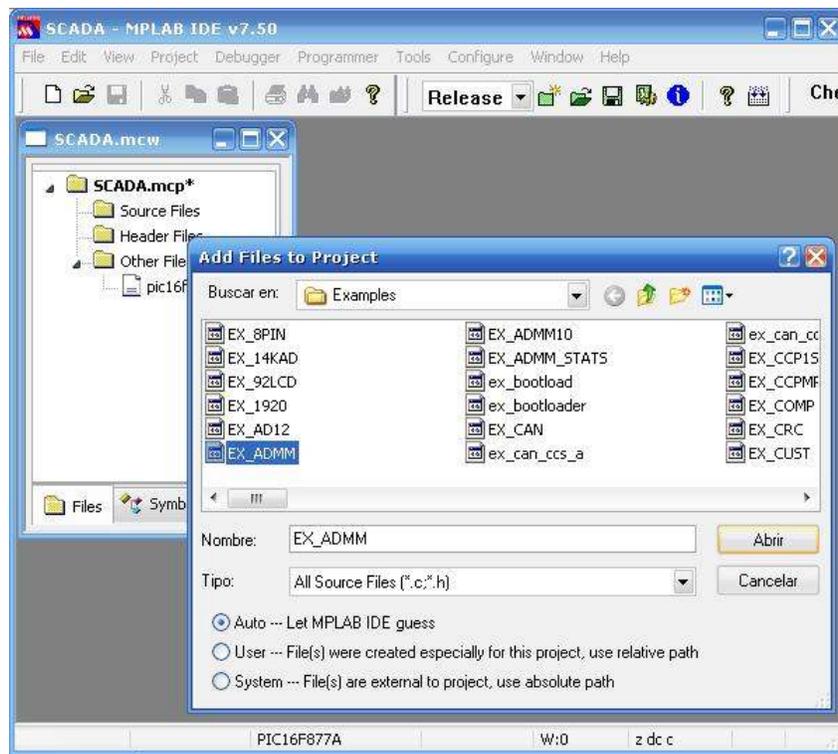


Figura 5.8.10 Programa ejemplo de Ccsc.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

```
////////////////////////////////////  
////          EX_ADMM.C          ////  
////          ////  
//// This program displays the min and max of 30 A/D samples over  ////  
//// the RS-232 interface. The process is repeated forever.      ////  
////          ////  
//// Configure the CCS prototype card as follows:                ////  
////   Insert jumper from output of POT to pin A5                ////  
////   Use a 10K POT to vary the voltage.                        ////  
////          ////  
//// Jumpers:                                                    ////  
////   PCM,PCH   pin C7 to RS232 RX, pin C6 to RS232 TX        ////  
////          ////  
//// This example will work with the PCM and PCH compilers. The  ////  
//// following conditional compilation lines are used to include a  ////  
//// valid device for each compiler. Change the device, clock and  ////  
//// RS232 pins for your hardware if needed.                    ////  
////////////////////////////////////  
////   (C) Copyright 1996,2003 Custom Computer Services        ////  
//// This source code may only be used by licensed users of the CCS  ////  
//// C compiler. This source code may only be distributed to other  ////  
//// licensed users of the CCS C compiler. No other use,         ////  
//// reproduction or distribution is permitted without written    ////  
//// permission. Derivative programs created using this software  ////  
//// in object code form are not restricted in any way.          ////  
////////////////////////////////////
```

```
#if defined(__PCM__)  
#include <16F877.h>  
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP  
#use delay(clock=20000000)  
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)  
  
#elif defined(__PCH__)
```

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

```
#include <18F452.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
#endif
```

```
void main() {

    int i, value, min, max;

    printf("Sampling:");

    setup_port_a( ALL_ANALOG );
    setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
    set_adc_channel( 0 );

    do {
        min=255;
        max=0;
        for(i=0; i<=30; ++i) {
            delay_ms(100);
            value = Read_ADC();
            if(value<min)
                min=value;
            if(value>max)
                max=value;
        }
        printf("\n\rMin: %2X Max: %2X\n\r",min,max);

    } while (TRUE);
}
```

A continuación se muestra el programa EX_ADMM.C ya modificado para la tarjeta de adquisición de datos.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos
Mediante LabVIEW

```
//*****  
//Propósito: Monitorear una señal de Entrada  
//Microcontrolador: PIC16F877A con un cristal de 4MHz  
//Hardware: MAX232 para la conversión de voltajes del PIC a la PC  
//Software: CCS PCM  
//*****  
#if defined(__PCM__)  
#include <16F877.h>  
#device ADC=8  
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT  
#use delay(clock=4000000)  
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)  
  
void main() {  
  
    int value;  
    set_tris_a(0x01);  
    setup_port_a( ALL_ANALOG );  
    setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );  
    do {  
  
        delay_ms(100);  
        value = Read_ADC();  
  
        printf("%d",value);  
  
    } while (TRUE);  
}
```

En el encabezado del programa se configura los parámetros que se utilizarán del microcontrolador PIC, como lo es el compilador (PCM), el *#include <16F877.h>* se incluye la librería del microcontrolador a utilizar (16F877) para usar sus funciones básicas, *#device ADC=8* configura al microcontrolador para trabajar con su

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

convertidor analógico/digital con 8 bits de información, *#fuses XT ,NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, PUT, BROWNOUT*, estas son las configuraciones del PIC para poder grabar el programa en el microcontrolador como el tipo de reloj, niveles de voltaje y protección de código. *#use delay(clock=4000000)* habilita la frecuencia del reloj con el cual se trabajará, *#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)*, configuración de los pines del microcontrolador para el envío de datos a una velocidad de 9600 baudios, *void main() {* indica que aquí comienza el cuerpo del programa principal, *int value;* define una variable a utilizar llamada *value* del tipo entero, *set_tris_a(0x01);* selecciona el pin 1 del puerto a como entrada, *setup_port_a(ALL_ANALOG);* el puerto a tendrá una señal analógica, *setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);* el ADC utiliza el reloj interno del pic, la última parte del código lee el pin 1 del puerto a y hace la conversión analógica digital posteriormente lo manda al puerto rs232 y la rutina se repite.

5.9 IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE - INSTRUMENTO VIRTUAL PRÁCTICA 4 COMPRESORES

El siguiente paso es mandar los datos obtenidos del puerto serial al entorno LabVIEW y mostrarlos mediante un instrumento virtual el cual expresará los datos enviados por el microcontrolador, el programa tomará muestras de su convertidor A/D y que al mismo tiempo los enviará vía RS-232.

La siguiente figura 5.9.1 muestra la vista frontal del programa en donde se realizaron las pruebas:

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW



Figura 5.9.1 Vista frontal del vi.

La siguiente figura 5.9.2 es el diagrama a bloques de lo que es el VI.

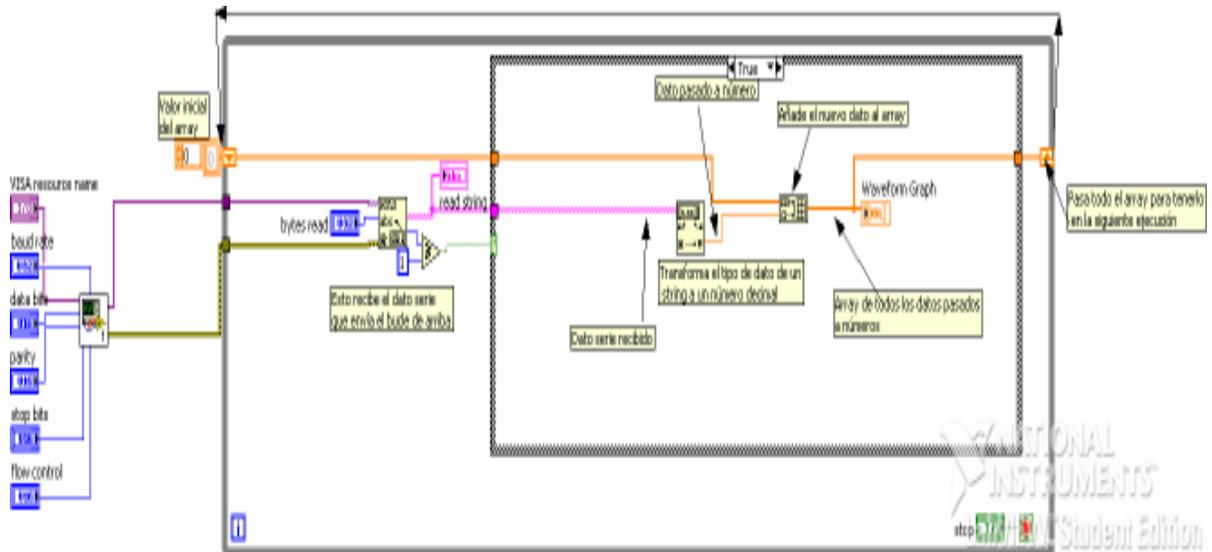


Figura 5.9.2 Diagrama a bloques del instrumento virtual.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

En el diagrama a bloques se configura primero el puerto a utilizar mediante un control llamado VISA (figura 5.9.3) que es el que contiene las configuraciones del puerto serial como son el Puerto a utilizar, la velocidad de transmisión, bits de paro, bit de paridad, bit de datos y flujo de control que son los diferentes configuraciones de la norma RS232 para la comunicación y sincronización con el pic16f877A.

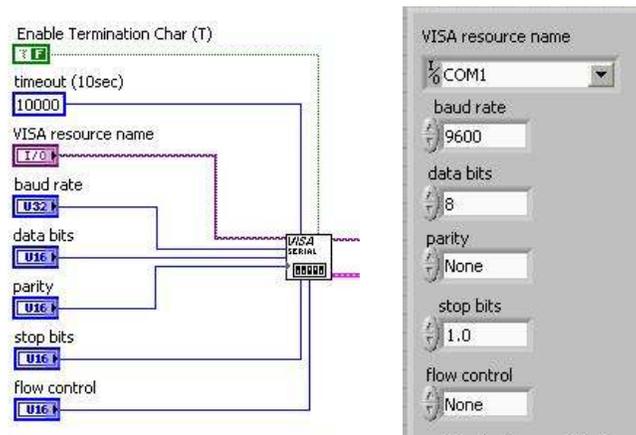


Figura 5.9.3 Configuración del VISA.

Una vez configurado el VISA general pasa a un una sublibrería de este mismo llamada VISA read (figura 5.9.4) en el que se configura el número de bytes que recibirá, error de entrada, error de salida y posteriormente el envío del dato.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

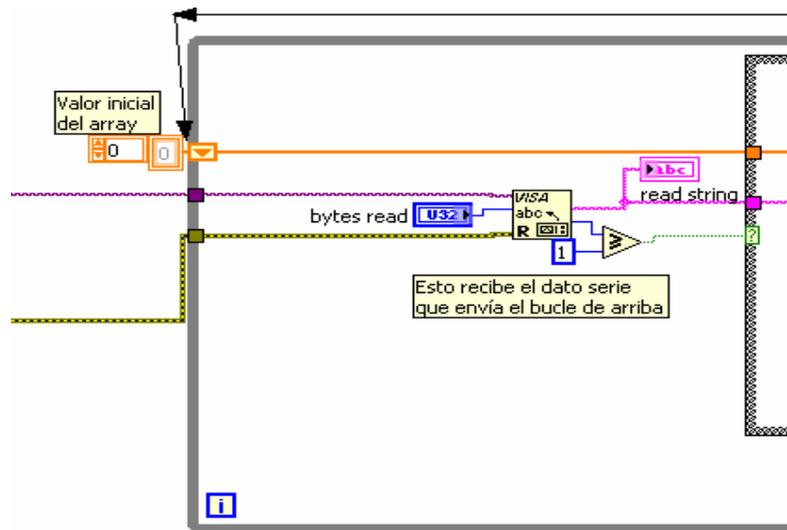


Figura 5.9.4 VISA read.

El VISA read envió el dato como una cadena de bytes, se requiere la conversión del tipo de dato binario a un número decimal, para esto se utiliza el control fract/Exp string to number (ver figura 5.9.5)

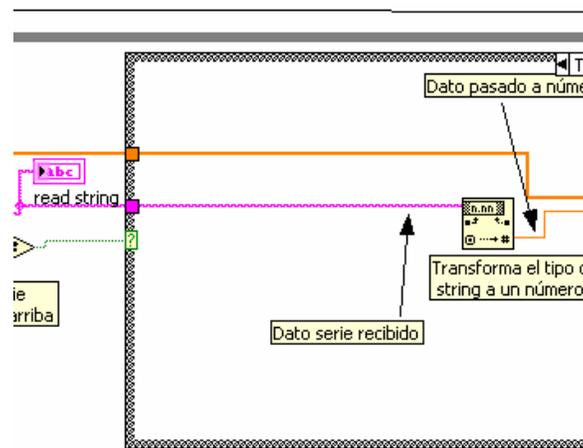


Figura 5.9.5 Conversión de datos binarios a decimal.

Realizada la conversión del tipo de dato, se requiere almacenarlo, posteriormente graficarlo, se usa un arreglo (build array) figura 5.9.6 en el se almacenan los datos que se graficarán en un control llamado waveform graph.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

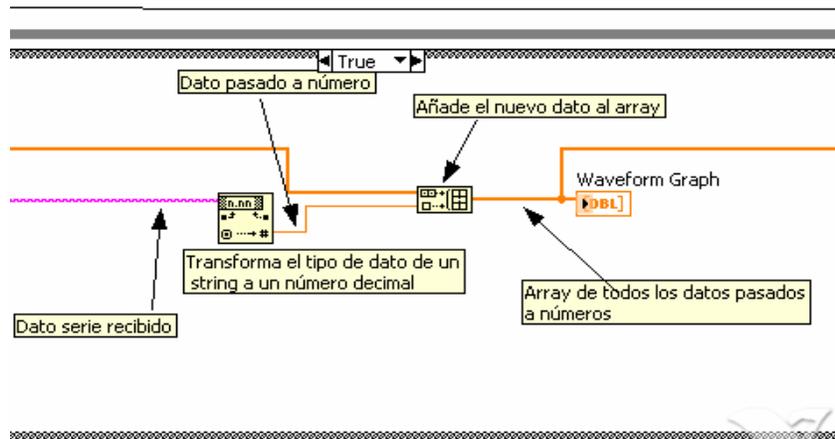


Figura 5.9.6 Build array.

Durante el envío de datos se leen bytes con valores de 0 el cual no requiere una transformación de tipo de dato, este valor se pasa directamente al arreglo para graficarlo, para esta comparación hacemos uso de la estructura case figura 5.9.7 que en su condición verdadera (true) realizará la conversión cuando el valor sea diferente o mayor que 0 y cuando sea falso (false) enviará el dato al arreglo.

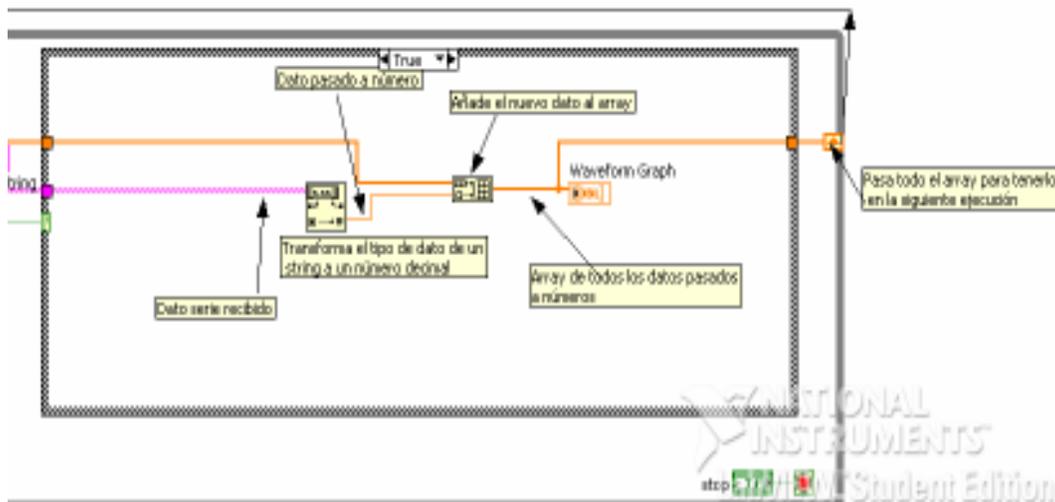


Figura 5.9.7 Estructura case.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Los datos son enviados constantemente el proceso se vuelve repetitivo para realizarlo se utiliza la estructura while loop (figura 5.9.8) que repetirá todo el proceso cuando éste sea verdadero, también muestra un botón de paro (stop) para terminar la recepción de datos.

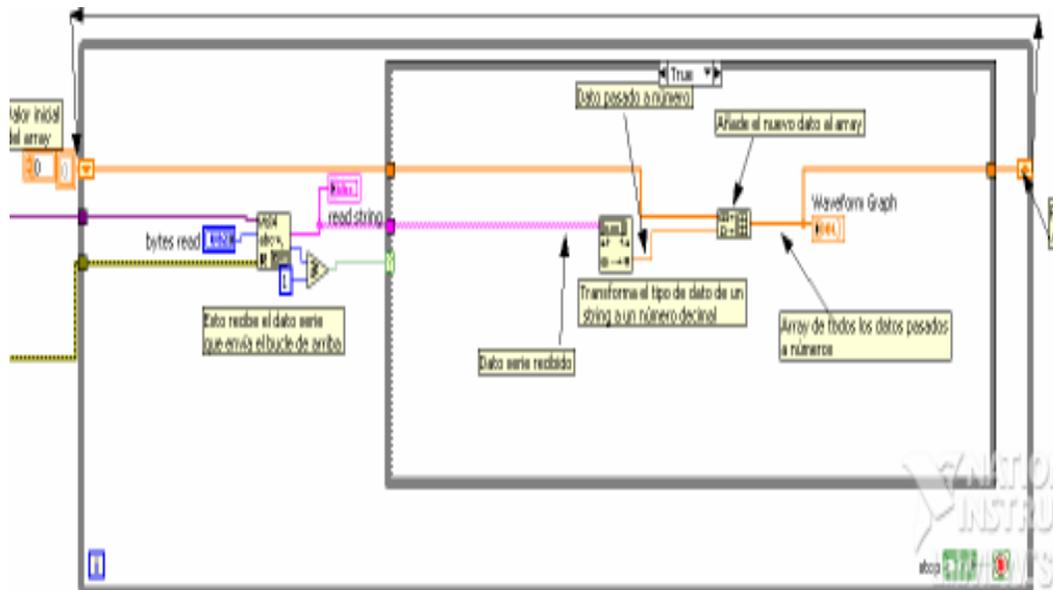


Figura 5.9.8 Estructura while loop.

5.10 PRUEBAS DE SOFTWARE

Se realizaron las pruebas en el programa Práctica 4 Compresores con la tarjeta conectada al termopar y se muestra a continuación una señal obtenida y graficada (Ver figuras 5.10.1, 5.10.2).

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW



Figuras 5.10.1 Gráfica de una señal obtenida del termopar.

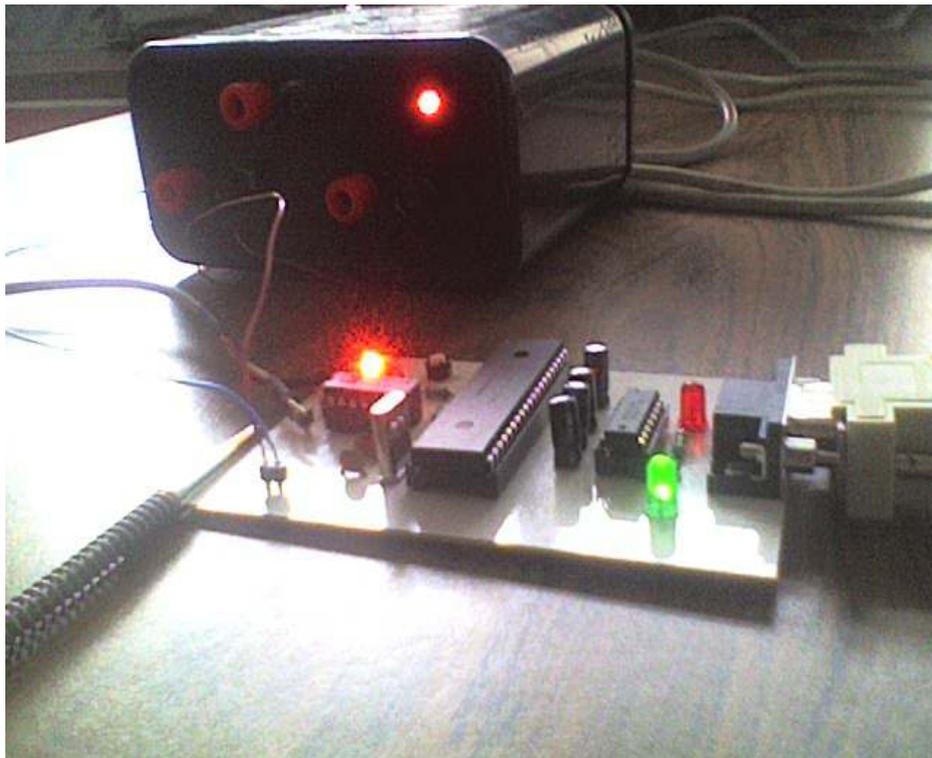


Figura 5.10.2 Tarjeta enviando datos a la PC.

5.11 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

En esta parte del sistema se propone que el laboratorio de termofluidos disponga de equipos como osciloscopio, fuentes, multímetros y el compresor para realizar mediciones y calibrar el hardware y el software del sistema.

5.12 VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Las pruebas que se realizaron con un termopar externo permitió ver que el sistema funciona, debido a que se obtiene una señal y es graficada en el programa, las modificaciones que se deben realizar son la calibración de la tarjeta comparando los valores obtenidos con los instrumentos tradicionales en este caso el termómetro de mercurio.

5.13 OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y EVOLUCIÓN

Para realizar esta fase se requiere tener al equipo en observación durante las prácticas por diferentes intervalos de tiempo para poder determinar que componentes o configuraciones se deben de modificar para dar un soporte al equipo.

CONCLUSIONES

El objetivo de la propuesta del proyecto planteado en el inicio de esta investigación se cumplió debido a que se automatizó una variable física en este caso la temperatura ésta es representada en una grafica realizada en el programa LabVIEW, las señales son adquiridas, enviadas e interpretadas en tiempo real, obteniendo un instrumento virtual el cual es una herramienta que se puede utilizar para la mejor comprensión durante el proceso de la práctica 4 de Compresores en la materia de Termofluidos.

En la realización de este proyecto se encontraron algunos impedimentos para trabajar con los niveles de voltaje que se obtenían del termopar tipo j ya que estos eran de algunos microvolts, para solucionar este problema se recurrió a los datos del fabricante para ver la variación de microvolts por grado centígrado, estos niveles de voltaje fueron amplificados y linealizados por un acondicionador de señal AD594 este circuito integrado contiene un arreglo de amplificadores operacionales el cual amplifica 10 mv por grado centígrado, esta señal obtenida se convirtió a datos digitales mediante un convertidor analógico-digital el cual esta integrado en el pic16f877a. Este microcontrolador se programó en lenguaje c y con el ambiente de trabajo MPLAB 7.5, éste fue configurado en base a la norma rs232 para la sincronización con el puerto serial de la pc, durante esta comunicación se encontró el problema de incompatibilidad de niveles de voltaje por que el pic trabaja con tecnología TTL y el puerto serie con tecnología CMOS se implemento un circuito el cual se encarga de hacer la conversión de voltajes de una tecnología a otra el hardware utilizado fue un max232. Una vez establecida la comunicación con la pc por el puerto serie se verificó que realmente se recibieran los datos que generaba el termopar, para eso se utilizó la hiperterminal de Windows debidamente configurada para que se realice la transmisión sin errores y a una velocidad previamente establecida en el programa del pic.

El desarrollo de este proyecto nos ha permitido aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera como son las materias de: Medición e Instrumentación la cual nos fue útil para la selección de los sensores a utilizar y

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

además nos dio los conocimientos para desarrollar a partir de un instrumento tradicional un instrumento virtual el cual fuera mejor por las características mencionadas en el capítulo 1; Control digital para poder trabajar con un convertidor AD y mandar los datos a la computadora, Microprocesadores esta materia fue de gran importancia ya que el elemento principal de la tarjeta de adquisición de datos es un microcontrolador el cual procesa y envía la señal de información a la PC en tiempo real.

Uno de los intereses de programar en LabVIEW fue debido a que las industrias actuales de cualquier tipo ya están implementando esta tecnología a sus procesos, para adquirir datos y tener un control en sus producciones o simplemente para el monitoreo. Esta tesis en la que manejamos LabVIEW hemos visto que es sencilla su programación así nos ha permitido conocer lo básico de este poderoso software para poder enfrentarnos a las necesidades que demanda el mercado laboral actual.

La evolución de los puertos de comunicación hace que se emigre hacia puertos más rápidos y de mayor uso en la actualidad, por ese motivo se sugiere como una mejora a futuro en esta tarjeta el uso del puerto USB para facilitar la adquisición de datos en equipos que no tienen el puerto serial, siendo más flexible el hardware permitiendo una compatibilidad con cualquier equipo.

Esta tarjeta fue diseñada específicamente para la adquisición de temperatura de un compresor y se puede utilizar para adquirir datos de cualquier equipo utilizando su acondicionador de señal para el sensor del proceso a monitorear.

GLOSARIO

A

Analog Devices - Dispositivos analógicos

∞

BITBUS

Marca registrada por Intel. De bajo costo y altas prestaciones. Intel cedió a dominio público el estándar, por lo que se considera un estándar abierto. Es el más difundido en todo el mundo, es cliente/servidor que admite como máximo 56 clientes, el paquete puede transmitir hasta 43 bytes de dato.

BJT

El transistor de unión bipolar (del inglés Bipolar Junction Transistor, o sus siglas BJT) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales.

BROWSER

Un navegador web o explorador web (del inglés, navigator o browser) es una aplicación software que permite al usuario recuperar y visualizar documentos de hipertexto, comúnmente descritos en HTML, desde servidores web de todo el mundo a través de Internet.

BPS - Bits de información por segundo.



C++

El C++ (pronunciado "ce más más" o "ce plus plus") es un lenguaje de programación, diseñado a mediados de los años 1980, por Bjarne Stroustrup, como extensión del lenguaje de programación C.

CARTA DE SMITH

La carta de Smith es un tipo de monograma, usado en ingeniería eléctrica, que muestra cómo varía la impedancia compleja de una línea de transmisión a lo largo de su longitud. Se usa frecuentemente para simplificar la adaptación de la impedancia de una línea de transmisión con su carga.

CMOS

CMOS (del inglés Complementary Metal Oxide Semiconductor, "Semiconductor Complementario de Óxido Metálico") es una de las familias lógicas empleadas en la fabricación de circuitos integrados (chips). Su principal característica consiste en la utilización conjunta de transistores de tipo pMOS y tipo nMOS configurados de tal forma que, en estado de reposo, el consumo de energía es únicamente el debido a las corrientes parásitas.

CMRR

La razón de rechazo al modo común (o CMRR, de las siglas inglesas Common Mode Rejection Ratio) es uno de los parámetros de un amplificador operacional (o AOP). La CMRR es una medida del rechazo que ofrece la configuración a la entrada de voltaje común.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

CompactPCI

El bus Compact PCI (CPCI) se basa en la norma Peripheral Component Interconnect (PCI), el estándar hoy en día para microcomputadores de alto rendimiento. Compact PCI amplía dicho estándar con la posibilidad de aplicarlo en ambiente industrial. CPCI es un bus materializado con placa de fondo y conectores directos, por ejemplo para controladores de alto rendimiento para discos duros SCSI y tarjetas gráficas rápidas así como componentes para comunicación de alta velocidad.

CPU

La unidad central de procesamiento, CPU (por sus siglas del inglés Central Processor Unit).



DAC

Digital-to-analog converter, DAC, D/A, Conversor Analógico Digital. En electrónica, dispositivo que convierte una entrada digital (generalmente binaria) a una señal analógica (generalmente voltaje o carga eléctrica). Los conversores digital-analógico son interfaces entre el mundo abstracto digital y la vida real analógica. La operación inversa es realizada por un conversor analógico-digital (ADC).

DATALOGGER

Un Data Logger es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores.

DCE - (Data Comunicación Equipment, Equipo de Comunicación de datos),

DECIBELES

Decibelio es la unidad relativa empleada en Acústica y Telecomunicación para expresar la relación entre dos magnitudes, acústicas o eléctricas, o entre la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia.

DMMs - multimetros digitales

DSP

Un Procesador Digital de Señales (DSP, sigla en inglés de Digital Signal Processor) es un tipo de microprocesador, increíblemente rápido y poderoso. Un DSP es único porque procesa señales en tiempo real.

DTE - Data Terminal Equipments (Equipo Terminal de Datos)

⌘

ECU - (Engine Control Unit, unidad de control de ingeniería).

EEG

La electroencefalografía (EEG) es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones básicas de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones (habitualmente hiperpnea y estimulación luminosa intermitente).

EISA

El Extended Industry Standard Architecture (en inglés, Arquitectura Estándar Industrial Extendida), casi siempre abreviado EISA, es una arquitectura de bus para computadora es compatibles con el IBM PC.

ETHERNET

Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs, red de área local) basada en tramas de datos.

ERP

Los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) son sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía comprometida en la producción de bienes o servicios.



FET

El transistor de efecto campo (Field-Effect Transistor o FET, en inglés) es en realidad una familia de transistores que se basan en el campo eléctrico para controlar la conductividad de un "canal" en un material semiconductor. Los FET, como todos los transistores, pueden plantearse como resistencias controladas por voltaje.

FIELDBUS

Las redes de comunicaciones industriales deben su origen a la fundación FieldBus (Redes de campo). La fundación FieldBus, desarrollo un nuevo protocolo de comunicación, para la medición y control de procesos donde todos los instrumentos puedan comunicarse en una misma plataforma.

FIP

(Factory Instrumentation Bus, bus factor de instrumentacion): impulsado por fabricantes y organismos oficiales franceses.

FOTOLITOGRAFICO

La Fitolitografía o litografía óptica es un proceso empleado en la fabricación de dispositivos semiconductores. El proceso consiste en transferir un patrón desde una fotomáscara (denominada retícula) a la superficie de una oblea.

FRAME RELAY

Frame Relay o (Frame-mode Bearer Service, “trama rele”) es una técnica de comunicación mediante retransmisión de tramas, introducida por la ITU-T a partir de la recomendación I.122 de 1988. Consiste en una forma simplificada de tecnología de conmutación de paquetes que transmite una variedad de tamaños de tramas o marcos (“frames”) para datos, perfecto para la transmisión de grandes cantidades de datos.

FULL DUPLEX

Tipo de comunicación donde la transmisión de datos se realiza en ambos sentidos al mismo tiempo, se envían datos como se reciben por dos líneas diferentes.



GOULD INC

GOULD Electronics es un líder global en el mercado de productos de lámina de cobre y el socio principal de numerosos fabricantes de revestimiento de cobre y cartón de tiendas.

ℳ

HALF DUPLEX

Sistema de comunicación en el que la transmisión de datos se realiza en ambos sentidos, se envían datos del emisor al receptor y viceversa, pero no al mismo tiempo. Los datos pueden viajar en una u otra dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo; luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección.

HDLC

HDLC (High-Level Data Link Control) es un protocolo de comunicaciones de datos punto a punto entre dos elementos basado en el ISO 3309. Proporciona recuperación de errores en caso de pérdida de paquetes de datos, fallos de secuencia y otros. Mediante una red de conmutadores de paquetes conectados con líneas punto a punto entre ellos y con los usuarios se constituye la base de las redes de comunicaciones X25.

HMI - Human Machine Interfase (Interfase hombre máquina)

HP

El Hewlett-Packard Instrument Bus (HP-IB) es un estándar bus de datos digital de corto rango desarrollado por Hewlett-Packard en los años 1970 para conectar dispositivos de test y medida (por ejemplo multímetros, osciloscopios, etc) con dispositivos que los controlen como un ordenador. Otros fabricantes copiaron el HP-IB, llamando a su implementación General-Purpose Instrumentation Bus (GP-IB). En 1978 el bus fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, instituto de electricidad e ingenieros electrónicos) como el IEEE-488 (488.1).

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW



I²C

I²C es un bus de comunicaciones serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). La versión 1.0 data del año 1992 y la versión 2.1 del año 2000, su diseñador es Philips.

ISA

El Industry Standard Architecture (en inglés, Arquitectura Estándar Industrial), casi siempre abreviado ISA, es una arquitectura de bus creada por IBM en 1980 en Boca Ratón, Florida para ser empleado en los IBM PCs.



LABVIEW

(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), laboratorio de instrumento virtual de diseño en banco de trabajo.

LAN

Una red de área local, conocida por sus siglas en inglés LAN (Local Area Network);



MCA

El bus MCA (Micro Channel Architecture) es un bus creado por IBM con la intención de superar las limitaciones que presentaba el bus ISA. Este nuevo tipo de bus es de 32 bits y funciona con una frecuencia de reloj ligeramente más

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

elevada, 10 MHZ, permitiendo una velocidad de transferencia máxima de 20 MB/s. Esta nueva estructura se comercializó con la gama PS/2.

MODBUS

Es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs).

MODBUS MODICON

Marca registrada de GOULD INC. Define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo. Su principal inconveniente es que no está reconocido por ninguna normal internacional.

MODEM

Un módem es un equipo que sirve para modular y demodular (en amplitud, frecuencia, fase u otro sistema) una señal llamada portadora mediante otra señal de entrada llamada moduladora.

MTU – Equipo terminal de datos.

MIL-STD-1553B- Adoptado por algunos fabricantes en USA.



NEMA 4X

NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Este es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (E.U.),

NETWORK – Trabajo en red.

NMRR

Representa la relación de rechazo de modo normal y define que tan bien un instrumento rechaza o atenúa el ruido entre las terminales de entrada HI y LO.

NOISE – ruido

NOISE SHAPING

Es un sistema de añadir dither a una señal digital de un audio de forma que la energía de este se desplace hacia frecuencias mas altas. Esto permite disminuir el ruido de fondo en aquellas frecuencias en las que el oído es mas sensible, pero aumentándolo en esas frecuencias altas en las que lo es menos.

NPN

NPN es uno de los dos tipos de transistores bipolares, en los cuales las letras "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor. La mayoría de los transistores bipolares usados hoy en día son NPN, debido a que la movilidad del electrón es mayor que la movilidad de los "huecos" en los semiconductores, permitiendo mayores corrientes y velocidades de operación.

NTC

(Negative Thermal Coefficient, Terminal de coeficiente negativa) Los termistores NTC son resistencias sensibles a la temperatura, están fabricados de una mezcla de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe y están moldeados en un cuerpo cerámico de varios tamaños, típicamente tienen una resistencia entre 50Ω y $1M\Omega$ a $25^{\circ}C$ y una sensibilidad del $4\%/^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$.



ODBC

Open Database Connectivity (ODBC) es un estándar de acceso a Bases de Datos desarrollado por Microsoft Corporation, el objetivo de ODBC es hacer posible el acceder a cualquier dato desde cualquier aplicación, sin importar qué Sistema Gestor de Bases de Datos (DBMS por sus siglas en inglés) almacene los datos, ODBC logra esto al insertar una capa intermedia llamada manejador de Bases de Datos, entre la aplicación y el DBMS, el propósito de esta capa es traducir las consultas de datos de la aplicación en comandos que el DBMS entienda.

OVERFLOWS

En seguridad informática y programación, un desbordamiento de buffer (del inglés buffer overflow o buffer overrun) es un error de software que se produce cuando se copia una cantidad de datos sobre un área que no es lo suficientemente grande para contenerlos, sobrescribiendo de esta manera otras zonas de memoria.



PARALELO EPP

El protocolo EPP fue originalmente desarrollado por Intel, Xircom y Zenith Data Systems, como una manera de obtener un puerto paralelo de alta resolución totalmente compatible con el puerto paralelo standard. Esta capacidad fue implementada por Intel en el procesador 386SL.

PC - Computadora Personal.

PCI

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Un Peripheral Component Interconnect (PCI, "Interconexión de Componentes Periféricos") consiste en un bus de ordenador estándar para conectar dispositivos periféricos directamente a su placa base.

PCI-Express

(Anteriormente conocido por las siglas 3GIO, 3rd Generation I/O) es un nuevo desarrollo del bus PCI que usa los conceptos de programación y los estándares de comunicación existentes, pero se basa en un sistema de comunicación serie mucho más rápido. Este sistema es apoyado principalmente por Intel, que empezó a desarrollar el estándar con nombre de proyecto Arapahoe después de retirarse del sistema Infiniband.

PCMCIA

Es la abreviatura de Personal Computer Memory Card International Association, asociación de la industria de fabricantes de hardware para computadoras portátiles, encargada de la elaboración de estándares.

Una tarjeta PCMCIA es un dispositivo normalmente utilizado en computadoras portátiles para expandir las capacidades de éste. Se usan para ampliar capacidades en cuanto a: memoria de ordenador, disco duro, tarjeta de red, capturadora de radio y tv, puerto paralelo, puerto serial, módem, puerto USB, etc.

PID

Un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un sistema de control que, mediante un actuador, es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más frecuentes y precisos dentro de la regulación automática.

PNP

El otro tipo de transistor bipolar de juntura es el PNP con las letras "P" y "N" refiriéndose a las cargas mayoritarias dentro de las diferentes regiones del

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

transistor. Pocos transistores usados hoy en día son PNP, debido a que el NPN brinda mucho mejor desempeño en la mayoría de las circunstancias.

PLC

Los CLP o PLC (Programmable Logic Controller en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial.

PROFIBUS

Impulsado por los principales fabricantes alemanes. El protocolo es un subjuego de MINIMAP. Está impulsado por ser un estándar abierto y bajo norma DIN 19.245.

PT100

Un tipo de RTD son las Pt100 o Pt1000. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100ohms o 1000ohms respectivamente a 0°C. Son dispositivos muy lineales en un gran rango de temperaturas.

PTC (Positive Termal Coefficient, “terminal de coeficiente positiva).

PXI

El bus PXI es un bus industrial de comunicaciones estándar para instrumentación y control. Las siglas significan una extensión del bus PCI pensada para aplicaciones de instrumentación (en inglés: PCI eXtensions for Instrumentation).

PWM

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

La modulación por ancho de pulsos (o PWM, de pulse-width modulation en inglés) es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (por ejemplo sinusoidal u cuadrada).

R

RAM

La memoria de acceso aleatorio, o memoria de acceso directo (en inglés: Random Access Memory, cuyo acrónimo es RAM), o más conocida como memoria RAM.

RMS

RMS (del inglés root mean square) es una medida estadística de la magnitud de una cantidad variable. Puede calcularse para una serie de valores discretos o para una función variable continua. El nombre deriva del hecho de que es la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores.

ROM

Son las siglas de read-only memory, que significa "memoria de sólo lectura"

RS-232

(También conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras situaciones en las que también se utiliza la interfaz RS-232.

RTD - (Resistance Temperature Detector), resistencia detectora de temperatura.

RTU- Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos.



S-BUS

El bus S-100, IEEE696-1983 (retirado), fue uno de los primeros bus de datos diseñado en 1974 como parte del Altair 8800, generalmente considerado el primer "ordenador personal". El bus S-100 fue el primer bus estándar de la industria para los fabricantes de microordenadores, y los ordenadores S-100, procesadores y tarjetas periféricas, fueron producidas por varios fabricantes. El bus S-100 formó las bases para los ordenadores caseros cuyos constructores (por ej., el Homebrew Computer Club) implementaron drivers para CP/M y MP/M. Estos microordenadores S-100 ocuparon desde el hobby del aficionado a las estaciones de trabajo para pequeños negocios y fueron la cumbre del mundo de los microordenadores hasta el advenimiento del IBM PC (que algunos superaron).

SCADA

Acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos).

SCXI

SCXI de National Instruments es una plataforma de alto rendimiento para acondicionamiento de señales y conmutación de sistemas de medida y automatización.

SDLC

El acrónimo SDLC (del inglés Synchronous Data Link Controller, controlador de enlace de datos síncrono) se utiliza para nombrar el protocolo diseñado por IBM para enlaces síncronos a través de una línea para la capa 2 del modelo OSI de

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

comunicaciones. Como su nombre implica, es un protocolo síncrono, lo que supone la transmisión de la señal de reloj con los datos.

SIMPLEX

Sistema de comunicación en el que la transmisión de Datos es en un solo sentido, solo se envían datos del emisor al receptor. Los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE.

STRINGS – Cadena de datos.

T

TCP/IP

En referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP).

TDH Distorsión de armónico total.

U

UART o U(S)ART - (Transmisor y Receptor [Síncrono] Asíncrono Universal)

USB

El Universal Serial Bus (bus universal en serie) es un puerto que sirve para conectar periféricos a una computadora. Fue creado en 1996 por siete empresas: IBM, Intel, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC.



VATIMETRO

El vatímetro es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. El dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas «bobinas de corriente», y una bobina móvil llamada «bobina de potencial».

VBA - (Visual Basic for Applications, visual básico para aplicaciones)

VI - Instrumento virtual

VLBUS

El VL es una expansión homogeneizada de bus local, que funciona a 32 bits, pero que puede realizar operaciones a 16 bits. VESA presentó la primera versión del estándar VL-BUS en agosto de 1992.

VMM

VMM (Virtual Machine Monitor) actúa como root y tiene un control total del micro y del resto del hardware del sistema. Es capaz de mantener el control de forma selectiva, sobre determinados recursos del procesador, de la memoria física, de la gestión de interrupciones y de los accesos de I/O.

VORONOI - Cuantificadores de Vecino Más Cercano

VPTAT (Tensión de salida del sensor de temperatura)

VSAT

VSAT son las siglas de Terminal de Apertura Muy Pequeña (del inglés, Very Small Aperture Terminal).

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

Designa un tipo de antena para comunicación de datos vía satélite y por extensión a las redes que se sirven de ellas, normalmente para intercambio de información punto-punto, punto-multipunto (broadcasting) o interactiva.

CD

WAN

Una Red de Área Amplia (Wide Área Network o WAN, del inglés), es un tipo de red de computadoras capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 km, dando el servicio a un país o un continente. Un ejemplo de este tipo de redes sería Red IRIS, Internet o cualquier red en la cual no estén en un mismo edificio todos sus miembros (sobre la distancia hay discusión posible). Muchas WAN son construidas por y para una organización o empresa particular y son de uso privado, otras son construidas por los proveedores de Internet (ISP) para proveer de conexión a sus clientes.

WAVELETS

Las técnicas de análisis wavelet emplean regiones de tamaño variable, para el análisis de las señales deja usar durante largo tiempo intervalos donde se necesita mucha información que precisa poca frecuencia y pequeñas regiones donde la información necesita altas frecuencias.

WHEATSTONE

Un puente de Wheatstone es un instrumento eléctrico de medida inventado por Samuel Hunter Christie en 1832, mejorado y popularizado por Sir Charles Wheatstone en 1843. Se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.

Adquisición de Datos del Compresor de Baja Presión de Laboratorio de Termofluidos Mediante LabVIEW

WiFi

Wi-Fi (siglas del inglés Wireless-Fidelity) (o Wi-fi, WiFi, Wifi, wifi) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, sin embargo es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.



X.25

X.25 es un estándar UIT-T para redes de área amplia de conmutación de paquetes. Su protocolo de enlace, LAPB, está basado en el protocolo HDLC proveniente de IBM. Establece mecanismos de direccionamiento entre usuarios, negociación de características de comunicación, técnicas de recuperación de errores. Los servicios públicos de conmutación de paquetes admiten numerosos tipos de estaciones de distintos fabricantes. Por lo tanto, es de la mayor importancia definir la interfaz entre el equipo del usuario final y la red.

XT

ISA se creó como un sistema de 8 bits en el IBM PC en 1980, y se extendió en 1983 como el XT bus architecture.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **D.VALLEJO** Horacio, Saber Electronica, Edición Internacional No.187, Pág. 5
- [2] **MODESTO VAZQUEZ** Coronel, Intech México Automatización, Industria Graphica, Año 4 No.4, Pág. 20-24.
- [3] **MODESTO VAZQUEZ** Coronel, Intech México Automatización, Industria Graphica, Año 5 No.2, Pág. 16-20.
- [4] **MODESTO VAZQUEZ** Coronel, Intech México Automatización, Industria Graphica, Año 6 No.5, Pág. 16-20.
- [5] **DEL RIO FERNADEZ** Joaquín, LabVIEW 7.1, Editorial THompson
- [6] **D. VALLEJO** Horacio Club Saber Electrónica Manejos de Puertos de PC & Adquisición de Datos, Editorial Quark, No. 35 Pág. 22-31
- [7] **CAMPBELL** Joe, El libro del RS232, Segunda Edición, Ediciones Anaya Multimedia España 1987
- [8] **FORCADA G** Julio, El amplificador Operacional, Editorial Alfa Omega México 1996.
- [9] **CRUZ FELIPE** Ivette Tesis Programación de Microprocesadores en VHDL FES ARAGON México 2001 Pág.30-39.
- [10] Guía de reemplazos ECG, Semiconductors, 1996
- [11] NTE Semiconductors Sexta Edición 1996
- [12] <http://www.datasheet.com/>
- [13] <http://mx.geocities.com/pcmuseo/mecatronica/puertors232.htm>

[14] <http://www.neutralbit.com/es>

[15] <http://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>

[16] <http://www.silica.com/>

[17] <http://www.x-robotics.com/hardware.htm#MAX232>

[18] <http://www.monografias.com/trabajos12/sensor/sensor.shtml>

[19] <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/CE50592E3C3A3E1C86256B5F00651ED7>

[20] <http://www.ni.com>

[21] <http://www.microcip.com>

[22] <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/gic/publicaciones.htm>

[23] <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/PAEEES/2004-05/A02-A03%20-%20Conversor%20AD%20del%20PIC16F877.pdf>

[24] <http://www.freescale.com>

[25] HAYKIN, VAN VEEN, Señales y Sistemas, Primera Edición Mexico D.F 2001, Editorial Limusa Wiley. Pág. 641.

[26] STUART A. BOYER, Scada: Supervisory control and data acquisition, Research Triangle Park, n.c.: Instrument society of America, 1993.

[27] MANUEL ANTONY, DOMINGO BIEL, JORDY PRAT, Instrumentación Virtual. Adquisición, procesamiento y análisis de señales, Edición UPC Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona España.