



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE
DATOS PARA UN CICLO RANKINE”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

SANTIAGO ADÁN NICOLÁS GARCIA

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. HUMBERTO MANCILLA ALONSO

CD. NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO

2013



FES Aragón



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.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón por darme la oportunidad de estar en sus instalaciones para completar mi formación profesional.

A la ENP Plantel 9 "Pedro de Alba", por abrirme las puertas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

A mis padres y hermana, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como en la vida, por su apoyo incondicional, por ser un ejemplo de constancia, esfuerzo y honradez, este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mi asesor, el M. en I. Humberto Mancilla Alonso, que gracias a su guía, apoyo y confianza, he alcanzado esta meta.

A mis amigos Julio, Verónica, Miguel, Liliana, Sergio, Luis, Omar, Francisco, Diego, Omar, que me han apoyado y brindado su amistad.

A todos lo que confiaron en mí, Gracias.

ÍNDICE	PÁGINA
NOMENCLATURA	1
1.- Introducción	3
2.- Antecedentes	5
3.- Planteamiento	13
3.1.- Sensores	15
3.2.- Tarjetas de adquisición de datos	15
3.2.1.- Amplificación	16
3.2.2.- Filtrado	17
3.3.3.- Interfaz	17
4.- Propuesta de solución	18
4.1 Levantamiento	19
4.2 Variables de medición	22
4.2.1.- Temperatura	22
4.2.2.- Presión	22
4.2.3.- Flujo másico	22
4.2.4.- Medidas eléctricas	22
4.2.5.- Velocidad angular	22
4.2.6.- Torque	22
4.2.7.- Generador de vapor	23
4.2.8.- Turbina Coppus y generador de CC	23
4.2.9.- Intercambiador de calor y tanque de condensados	24
4.3 Selección de sensores y tarjetas de adquisición de datos	25
4.3.1.-Temperatura	25
4.3.2.- Presión	30
4.3.3.- Flujo másico	32
4.3.4.- Medidas eléctricas	33
4.3.5.- Velocidad angular	35
4.3.6.- Torque	36
4.3.7.- Instrumentos seleccionados	37
4.4 Desarrollo de interfaz	52
4.5 Instalación	60
5.- Pruebas y validación	72
6.- Conclusiones	81
Bibliografía	83

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado	Unidades
A	Área	m^2
A_d	Ganancia del amplificador	
B	Índice de sensibilidad del termistor	K
C_d	Coefficiente de descarga	
g	Aceleración de la gravedad	m/s^2
h_1	Entalpia del agua a la entrada de la bomba, salida del condensador	kJ/kg
h_2	Entalpia del agua a la salida de la bomba, entrada de la caldera	kJ/kg
h_3	Entalpia del vapor saturado a la salida de la caldera, entrada del sobrecalentador	kJ/kg
$h_{3'}$	Entalpia del vapor a la salida del sobrecalentador, entrada de la turbina	kJ/kg
h_4	Entalpia del vapor a la salida de la turbina, entrada del condensador	kJ/kg
h_o	Entalpia del agua de enfriamiento a la salida del condensador	kJ/kg
h_i	Entalpia del agua de enfriamiento a la entrada del intercambiador	kJ/kg
l	longitud	m
\dot{m}_a	Flujo másico de agua	kg/h
\dot{m}_e	Flujo másico de agua de enfriamiento	kg/h
\dot{m}_v	Flujo másico de vapor	kg/h
p_1, p_2	Presión del fluido en los 2 puntos de referencia	N/m^2
Q_c	Calor cedido por el vapor	kJ/kg
Q_e	Calor ganado por el agua de enfriamiento	kJ/kg
Q_g	Calor ganado por el agua (fluido de trabajo)	kJ/kg
Q_p	Pérdidas en el condensador	kJ/kg
Q_s	Calor suministrado por el sobrecalentador	kJ/kg
R	Resistencia de un conductor metálico	Ω
R_0	Resistencia del termistor a T_0	Ω
R_1, R_2, R_3	Resistencias	Ω
R_4, R_G		
R_D	Resistencia del RTD	Ω
R_{RD}	Resistencia del RTD a la temperatura T_0	Ω
R_T	Resistencia del termistor a la temperatura T	Ω
T, T_0	Temperaturas de referencia	K
T_1	Temperatura del RTD	K
v	Velocidad del fluido	m/s

v_1, v_2	Velocidad de referencia en 2 puntos de la tubería	m/s
V_{EX}	Voltaje de excitación	V
V_{i+}, V_{i-}	Voltajes de alimentación	V
V_o	Voltaje de salida	V
W_b	Trabajo entregado por la bomba	kJ/kg
W_t	Trabajo entregado por la turbina	kJ/kg
z_1, z_2	Términos que hacen referencia a la diferencia de alturas entre los puntos de la tubería	m

Letras griegas

α, β, \dots	Son los coeficientes del modelo de acuerdo al grado del polinomio	$1/^\circ K$
γ	Peso específico del fluido	m^3/kg
η	Eficiencia del ciclo Rankine	
ρ	resistividad	Ωm

1



INTRODUCCIÓN

"Si no conozco una cosa, la investigaré".
Louis Pasteur.

La presente tesis está basada en un proyecto que consiste en la implementación de un sistema de adquisición de datos, que permite monitorear en tiempo real el comportamiento de los equipos que componen el ciclo Rankine, generar un reporte con los datos obtenidos y presentarlos en formato Excel.

El objetivo es mejorar la calidad de la enseñanza en las asignaturas del área de Termoenergía y Mecatrónica, utilizando un sistema mecatrónico de supervisión y adquisición de datos.

Se describen los principios de funcionamiento del ciclo Rankine, las ecuaciones necesarias para evaluar el comportamiento del mismo, y se identifican las variables físicas que deben ser medidas para realizar las prácticas de laboratorio correspondientes.

Se dan a conocer las partes que componen un sistema de adquisición de datos, los tipos de sensores que existen, las diferentes tarjetas de adquisición de datos, y se explica el funcionamiento de la interfaz diseñada para monitorear dicho ciclo, que ofrece la oportunidad de realizar 4 prácticas de laboratorio distintas.

Se elaboró una sección para describir el proceso de instalación y configuración del sistema de adquisición de datos. Se muestran los diagramas de conexión correspondientes y las pruebas realizadas para validar dicho sistema.

2



ANTECEDENTES

“Los imposibles de hoy, serán posibles mañana”.
Konstantin Tsiolkovsky.

Una de las áreas de aplicación más importantes de la termodinámica es la producción de potencia eléctrica mediante plantas de potencia de vapor. Las plantas de potencia de vapor de agua funcionan principalmente con el mismo ciclo básico (ciclo Rankine) independientemente de si la energía proviene de combustibles fósiles o de una fisión nuclear. Estas instalaciones de potencia, junto con las centrales hidroeléctricas, producen la mayor parte de la energía eléctrica utilizada a nivel mundial. Para su análisis, el ciclo Rankine se puede dividir en subsistemas, que son mencionados a continuación, y que se representan en un diagrama T-S (figura 2.1).

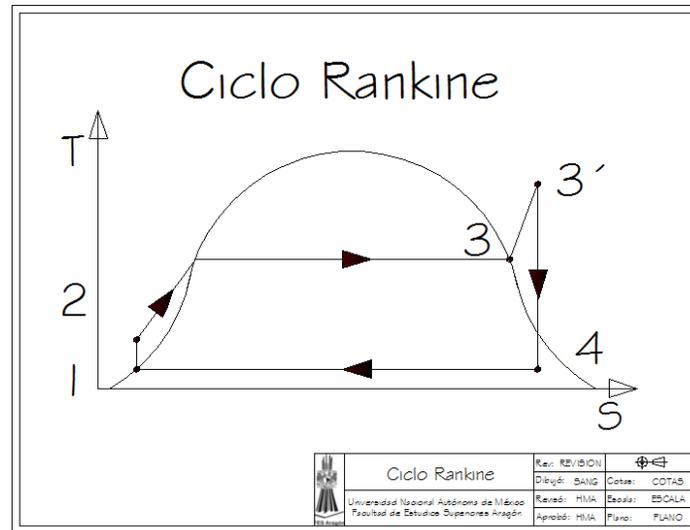


Figura 2.1 Diagrama Temperatura-Entropía para el ciclo Rankine con sobrecalentador.

Un ciclo de potencia de vapor a gran escala resulta complejo de analizar por la cantidad enorme de datos que se deben registrar al mismo tiempo, y el análisis debe estar basado en el comportamiento ideal del ciclo, para facilitar dicho análisis, se realizan modelos ideales, que en la formación de ingenieros son analizados en clase. Estos proporcionan información acerca de los parámetros que afectan el funcionamiento del ciclo en conjunto. Estos modelos, reforzados con la realización de prácticas de laboratorio, proporcionan al alumno experiencias reales acerca de la operación de estos sistemas mejorando la comprensión de las plantas de potencia de vapor que funcionan bajo los principios de la termodinámica, y específicamente del ciclo Rankine.

La FES Aragón, en los laboratorios de termofluidos, cuenta con los equipos que componen el ciclo Rankine con sobrecalentador, y su principio de operación del ciclo es el siguiente:

Proceso 1-2 Compresión isoentrópica en la bomba. El líquido procedente del tanque de condensados es bombeado desde la presión del tanque hasta la presión de entrada a la caldera. Este incremento en la presión del fluido, ocasiona que el cambio de fase del agua en la caldera necesite una mayor cantidad de energía, esto beneficia directamente la eficiencia del ciclo, ya que se aprovecha una mayor cantidad de energía

proveniente de la combustión en la cadera. El agua procedente del tanque de condensados se envía a alta presión a la caldera, para lograrlo, el agua pasa por una bomba de tipo diafragma de desplazamiento positivo, impulsada por un motor eléctrico. Está dividida en 2 secciones que alimentan la caldera dependiendo de la demanda de vapor.

El trabajo entregado por la bomba se calcula mediante la ecuación 1.

$$W = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad (1)$$

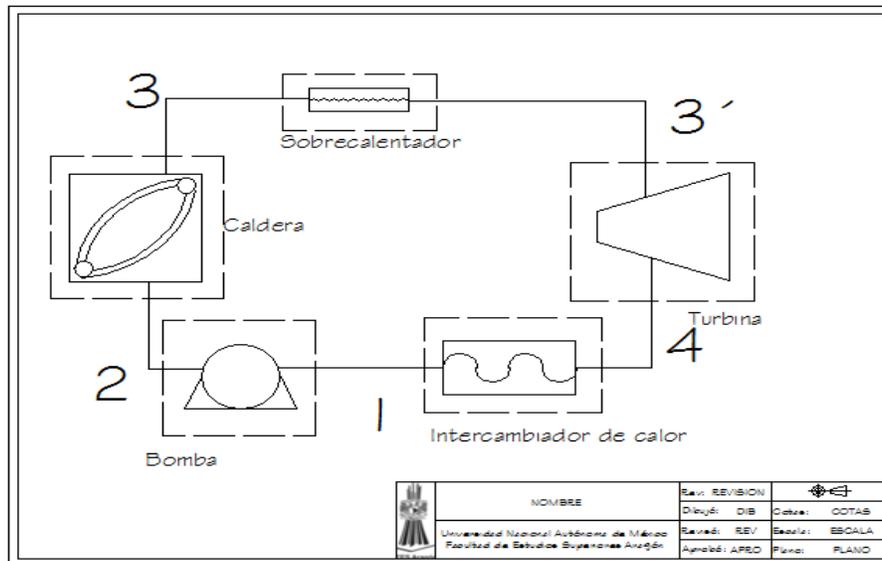


Figura 2.2. Volúmenes de control.

Proceso 2-3 Transferencia de calor a presión constante en la caldera (ver figura 2.3). La caldera es un dispositivo cerrado (intercambiador de calor), utilizado para realizar un cambio de fase de líquido saturado a vapor saturado, en un proceso isobárico.

En el interior de la unidad se aloja un solo tubo dispuesto en forma de espiral por el cual fluye el agua en sentido contrario a los gases de combustión. A través de este tubo, el agua se pone en contacto térmico hasta lograr el cambio de fase a vapor saturado. El vapor que sale de la unidad de calentamiento pasa al domo separador, que es un cilindro vertical, cuya función es separar las partículas excesivas de agua que lleva el vapor húmedo o de mezcla para obtener vapor saturado.

El vapor generado entra por la parte inferior, es conducido hasta una boquilla donde es obligado a girar. La humedad contenida se adhiere a las paredes del domo y cae al fondo del mismo para finalmente ser desalojado por una trampa de vapor. Ya libre de humedad el vapor sale a través de la válvula del domo separador en condiciones de ser utilizado, mientras que el condensado se retorna.

La ecuación 2 permite calcular el calor ganado por el fluido de trabajo.

$$Q_g = \dot{m}_a(h_3 - h_2) \quad (2)$$



Figura 2.3. Generador de vapor

El vapor que sale del domo se envía a un distribuidor de vapor que cumple las siguientes funciones:

- Envía vapor hacia el tanque de condensados para mejorar la eficiencia del ciclo.
- Alimenta el intercambiador de calor del laboratorio
- Alimenta el conjunto de calorímetros del banco de vapor
- Tiene una válvula de escape hacia la atmósfera
- Para el ciclo Rankine, envía el flujo de vapor a el sobrecalentador

Proceso 3-3' Transferencia de calor en el sobrecalentador. El objetivo del sobrecalentador (ver figura 2.4) es incrementar la temperatura del vapor saturado, para que pase a una fase de vapor sobrecalentado, que es la condición ideal para la operación de una turbina de vapor, debido a que el vapor sobrecalentado no tiene arrastre de humedad, en consecuencia, es menos abrasivo y corrosivo que el vapor saturado.

El vapor sobrecalentado que se obtiene se envía a la turbina Coppus. El proceso realizado en el sobrecalentador es isobárico, y para conocer la energía suministrada por el equipo, se emplea la ecuación 3.

$$Q_s = \dot{m}_v(h_{3'} - h_3) \quad (3)$$



Figura 2.4. Sobrecalentador.

Proceso 1'-2: Expansión isoentrópica a través de la turbina Coppus. La turbina (ver figura 2.5) es el dispositivo capaz de transformar la energía que lleva el vapor en trabajo. Para realizar este proceso, el fluido de trabajo (agua) debe estar en una fase de vapor sobrecalentado.

Para conocer el trabajo producido por la turbina, es necesario conocer las propiedades del vapor a la entrada y salida de la turbina, para poder calcular la entalpia en los estados termodinámicos antes mencionados.

El cálculo del trabajo ideal entregado por la turbina, se muestra en la ecuación 4.

$$W_t = \dot{m}_v(h_{3'} - h_4) \quad (4)$$



Figura 2.5. Turbina Coppus

Las prácticas que se realizan se basan en el funcionamiento del ciclo mediante algunas operaciones como las descritas a continuación. El flujo de vapor a la entrada de la turbina es controlado por 4 válvulas, al abrir cada una, se permite el paso de vapor a su tobera correspondiente, este proceso convierte la energía cinética del fluido en trabajo. Al incrementar la velocidad del fluido, este impacta con los álabes de la turbina, proporcionándoles movimiento. Al estar acoplado el eje de la turbina con el eje del generador eléctrico de CC también adquiere la misma velocidad de rotación. El generador, cuenta con un conjunto de 5 resistencias, que son accionadas una por separado, esto provoca un frenado y con ello una disminución en las rpm de la turbina, por lo que es necesario suministrar más vapor a la turbina. El proceso se realiza con el fin de que el alumno observe la variación en el suministro de vapor, para que el generador pueda mantenerse en condiciones estables.

A la salida de la turbina, el vapor es mandado a un intercambiador de calor de casco y tubos, este proceso se describe a continuación.

Proceso 4-1 Transferencia de calor en el condensador. El intercambiador de calor de casco y tubos (ver figura 2.6), que opera como condensador, tiene la función de transferir la energía en forma de calor que tiene el vapor, al agua de enfriamiento, para lograr un cambio de fase, de vapor saturado a líquido saturado.

En el intercambiador, se suministra un flujo de agua de enfriamiento a través de tubos colocados en las paredes del intercambiador, el vapor entra en el mismo, y comienza la transferencia de energía a presión constante.

Para conocer la energía que el vapor cedió, es necesario conocer los estados termodinámicos a la entrada y salida del intercambiador. Conociendo los estados termodinámicos mencionados, se calcula la energía cedida por medio de la ecuación 5.

$$Q_{c_v} = \dot{m}_v(h_4 - h_1) \quad (5)$$

Es posible realizar un balance de energía, para conocer las pérdidas en este proceso, esto se puede conocer calculando la energía que ganó el agua de enfriamiento mediante la ecuación 6.

$$Q_e = \dot{m}_e(h_{a_o} - h_{a_i}) \quad (6)$$

Las pérdidas de calor se pueden calcular mediante la ecuación 7.

$$Q_p = Q_{c_v} - Q_e \quad (7)$$

El vapor que ahora cambio de fase a líquido saturado, es enviado a un tanque de condensados (ver figura 2.7), que hace la función de economizador, debido a que el agua proveniente del intercambiador incrementa la temperatura del agua de suministro, y a su vez incrementando la entalpia, que nos ayuda para incrementar la eficiencia del ciclo.



Figura 2.6. Intercambiador de calor.

Con este último proceso, se completa el ciclo Rankine.

Conociendo todos los intercambios de energía que se realizan, podemos calcular la eficiencia total del ciclo, que es la relación entre el trabajo obtenido en la turbina y el calor cedido por el vapor, esta relación se muestra en la ecuación 8.

$$\eta = \frac{h_{3'} - h_4}{h_3 - h_2} \quad (8)$$

Cabe señalar que para el correcto funcionamiento del ciclo, es necesario darle un tratamiento inicial al agua, para ello, el agua proveniente del suministro, es procesada en un tanque suavizador de agua.



Figura 2.7. Tanque de condensados.

El tanque suavizador de agua (figura 2.8) es un tipo especial de filtro que realiza un intercambio iónico con los elementos disueltos en el agua, para que no se realice dicho intercambio iónico con las paredes de la tubería del generador de vapor y así evitar incrustaciones, obteniendo al final la llamada agua suave. El sistema suavizador de agua consiste en un tanque suavizador que contiene grava en tres medidas diferentes para

servir de filtro y zeolita en una capa de medio metro de espesor para el intercambio iónico, detectado por medio de pruebas de dureza.



Figura 2.8. Tanque de tratamiento suavizador y suministro de combustible.

El estudio de un ciclo Rankine aporta conocimientos y experiencias valiosas a los alumnos de ingeniería, mismos que son aplicados en el ámbito laboral. Por estos motivos, es de gran importancia que los alumnos de ingeniería de la FES Aragón estudien y comprendan los procesos que se realizan en las plantas de vapor.

3



PLANTEAMIENTO

“Lo que sabemos es una gota de agua, lo que ignoramos es el océano”.
Albert Einstein.

Es de gran importancia que el alumno de ingeniería de la FES Aragón entienda y comprenda el funcionamiento de un ciclo Rankine, ya que consta de varios equipos que son utilizados a nivel industrial tanto en conjunto como por separado.

Actualmente, la FES Aragón cuenta con los equipos para proporcionar las prácticas correspondientes, con el inconveniente de la adquisición de datos. Durante el desarrollo de las prácticas, el alumno toma nota de las lecturas en los diversos instrumentos de medición que están instalados en los equipos; en estos intervalos de tiempo, el alumno no presta atención a la operación de los equipos y a la explicación proporcionada por el profesor. Estas distracciones, se ven directamente reflejadas en los reportes que entregan los alumnos, donde se manifiestan las dudas que se tienen al no comprender los procesos. Al tomar nota manualmente, el alumno también corre un cierto riesgo al estar a una corta distancia de los equipos en operación debido a las altas temperaturas que se manejan.

Actualmente, a nivel industrial, se cuenta con diversas tecnologías para adquisición de datos, mismos que no son mostrados a los alumnos, esto es una gran desventaja, ya que no se están enseñando las nuevas tecnologías y los egresados cuentan con menos herramientas para defenderse en el ámbito laboral.

Para dar solución a estos problemas, se propone instalar un sistema de supervisión y adquisición de datos para el ciclo Rankine. El objetivo es mejorar la calidad de la enseñanza en los laboratorios de térmica, dotar de nueva y mejor infraestructura a la facultad, enseñar al alumno acerca de la tecnología que se está utilizando.

Un sistema de adquisición (ver figura 3.1) de datos brinda la oportunidad de actualización para los alumnos del área de térmica y los alumnos del área de mecánica. Se les brinda la oportunidad de trabajar con nuevos sistemas, e incluso, en un futuro cercano, brindaría la posibilidad de impartir cursos de actualización para egresados de ingeniería, fortaleciendo los conocimientos adquiridos durante sus estudios, y dándoles nuevas herramientas para desarrollarse a nivel profesional.

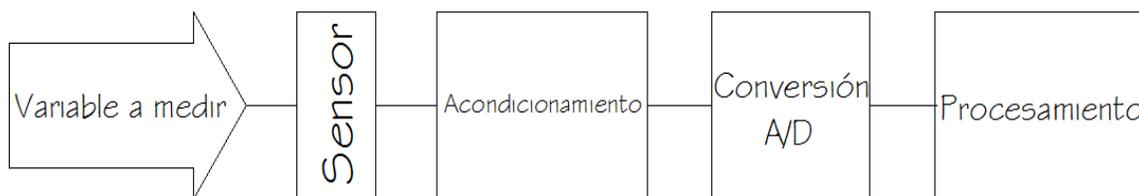


Figura 3.1. Estructura sistema de adquisición de datos

La propuesta es implementar un sistema de adquisición de datos para los equipos que comprenden el ciclo Rankine.

Un sistema de adquisición de datos es un sistema que nos permite capturar datos, almacenarlos, procesarlos y exhibirlos en alguna forma. Permite obtener información de un determinado proceso. Las partes que lo conforman son:

- Sensores
- Tarjetas de adquisición de datos
- Interfaz

3.1 Sensores. La misión de los sensores es capturar una variable física de un proceso, y convertirla en una señal eléctrica. Las variables físicas, a su vez pueden ser clasificadas de acuerdo a su naturaleza como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tipos de variables físicas, químicas y biológicas.

Naturaleza de la variable	Tipo de variable
Mecánica	Desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, par, presión, masa, flujo, etc.
Térmica	Temperatura, viscosidad, etc.
Magnética	Campo magnético, flujo magnético, permeabilidad magnética, etc.
Eléctrica	Carga, corriente, tensión, resistencia, conductancia, frecuencia, etc.
Óptica	Rayos gamma, rayos X, ultravioleta, infrarrojo, microondas, etc.
Química	Humedad, pH, concentración iónica, análisis de gases, etc.
Biológica	Proteínas, hormonas, antígenos, etc.

Para medir cada una de las variables antes mencionadas, existen diversos tipos y clasificaciones de sensores, como son termopares, galgas extensiométricas, RTD, acelerómetros, etc. En general, los sensores convierten las variables medidas en señales analógicas de voltaje o corriente.

3.2 Tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos son dispositivos en formato de tarjeta de circuito impreso que se conectan a una pc a través de distintos tipos de bus como puede ser PCI, PCI Express, PXI, USB, Ethernet, Wi-Fi. Existen diversos tipos de tarjetas, la más sencilla consiste en un hardware de adquisición que solo convierte la señal analógica de entrada en una señal digital que es enviada a la PC sin realizar ningún procesamiento.

Las tarjetas más completas, se encargan de realizar todo el acondicionamiento de señales requerido en un sistema de adquisición de datos, que son la etapa de filtrado, amplificación y conversión analógica-digital.



Figura 3.2. Tarjeta de adquisición de datos PCI (National Instruments 2013)

Pueden ser clasificadas de acuerdo al número de canales de entrada/salida, velocidad de muestreo, tipo de conexión a PC, tipo de acondicionamiento de señales, mecanismo de inicio de captura, resolución, exactitud, margen de entrada, etc.

3.2.1 Amplificación

Dentro de las tarjetas de adquisición de datos, se realiza el acondicionamiento de señales, que consiste en amplificación y filtrado de señales.

En la etapa de amplificación, el dispositivo más utilizado para estas aplicaciones es el amplificador de instrumentación, que es un amplificador diferencial de tensión de precisión con un circuito optimizado para su trabajo en los ambientes más hostiles, además es capaz de trabajar con sensores de resistencia eléctrica interna apreciable y no simétrica, sobre los que el ruido eléctrico tiene una gran influencia, y además proporcionan una señales eléctricas de muy bajo rango. El amplificador de instrumentación internamente consiste en 3 amplificadores que se muestran en la figura 3.3.

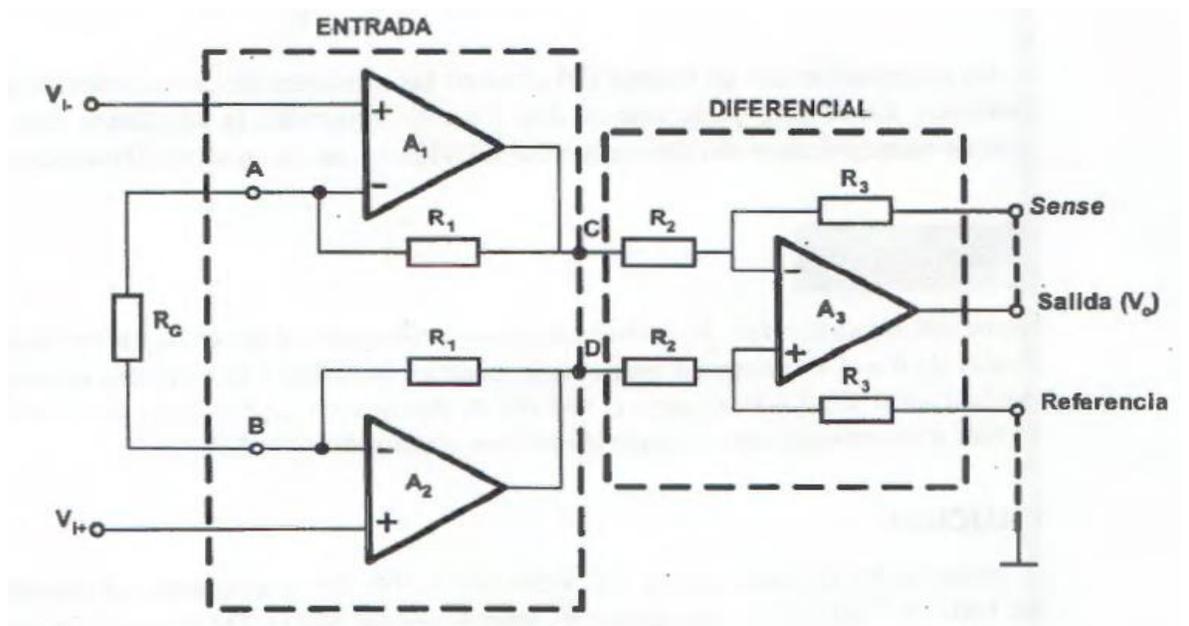


Figura 3.3. Amplificador de Instrumentación (Instrumentación electrónica, 2006)

La primera etapa cumple la función esencial de presentar impedancias de entrada altas e idénticas, a la vez que hace posible que el amplificador diferencial tenga como fuente de señal las salidas del mismo. En este circuito la exactitud de la ganancia diferencial y el rechazo al modo común dependen de la igualdad entre las resistencias R_2 y R_3 . Además, cuanto más rápido se aporte ganancia a una señal, mejor relación señal/ruido se tendrá. Para conocer la ganancia y tensión de salida del dispositivo, se aplican las ecuaciones siguientes:

$$A_d = 1 + \frac{2R_1}{R_G} \quad (9)$$

$$V_o = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right) (V_{i+} - V_{i-}) \quad (10)$$

3.2.2 Filtrado

El objetivo de filtrar las señales es eliminar el ruido generado por diversos factores como el ambiente, las vibraciones, interferencias eléctricas, es de gran importancia para tener lecturas correctas de los fenómenos físicos monitoreados.

Los filtros se clasifican según:

- La señal procesada.

Los filtros analógicos pueden ser activos, pasivos o de capacidad conmutada. Filtros digitales, que realizan el proceso mediante software.

- La función que llevan a cabo.

Pueden ser paso bajo, paso alto, paso banda o rechazo de banda.

- La aproximación matemática empleada.

Existen los filtros de Butterworth, de Chebyshev y de Bessel.

3.3 Interfaz. Es una parte fundamental del sistema, ya que aquí se procesan los datos, son presentados en una pantalla y almacenados en la memoria de la pc. Para diseñar una interfaz, existen diversos tipos de lenguajes de programación como son C++, Visual Basic, Fortran, Pascal. También se tiene la opción de utilizar software especializado como es TestPoint, SnapMaster, LabVIEW, DasyLab. La elección depende de las necesidades específicas de cada proyecto a realizar.

Definidos los componentes del sistema de adquisición de datos, el siguiente paso es la propuesta de dicho sistema.

4



PROPUESTA DE SOLUCIÓN

“La mejor forma de librarse de un problema es resolverlo”.

Brendan Francis.

4.- PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La metodología para realizar el diseño del sistema de adquisición de datos es la siguiente:

- Levantamiento
- Variables de medición
- Selección de sensores
- Desarrollo de interfaz
- Instalación

Cada uno de los puntos antes mencionados se describe a continuación.

4.1 LEVANTAMIENTO

Es importante conocer la ubicación de los equipos que componen el ciclo Rankine para reconocer los lugares donde es necesario tomar las lecturas de las variables a medir, sus conexiones, los instrumentos de medición con los que cuentan, el tipo de equipos. Para saber esta información, se realiza un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI mostrado en la figura 4.1.1).

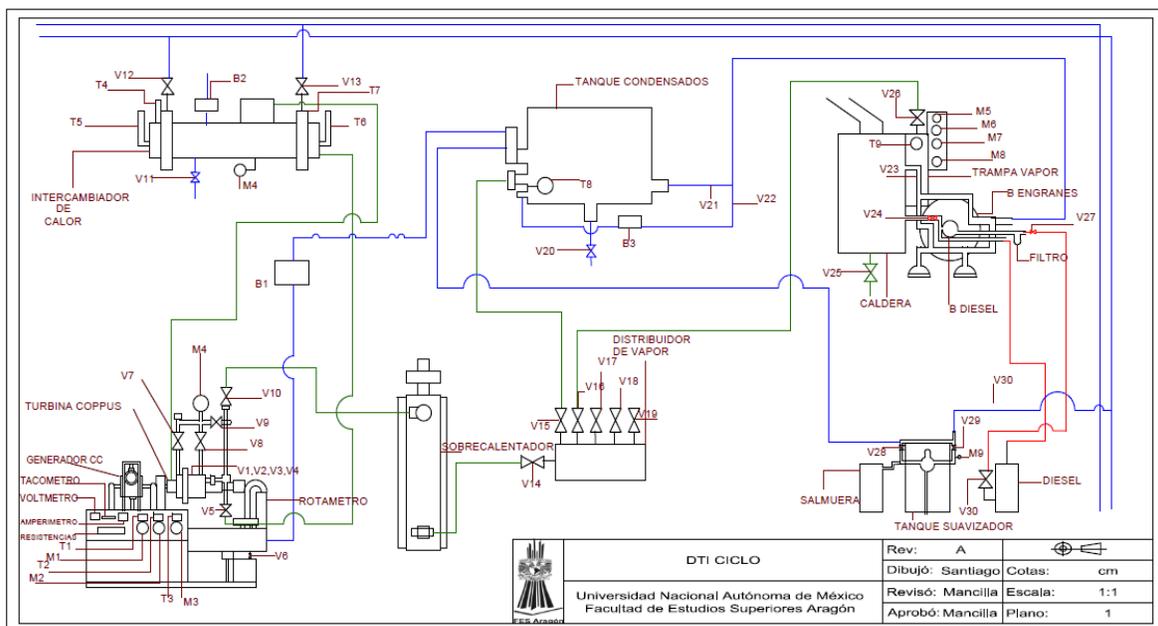


Figura 4.1. DTI ciclo Rankine

La figura 4.1 nos muestra las conexiones, donde comenzamos al costado inferior derecho, aquí se encuentra representado el tanque de tratamiento suavizador de agua. En este equipo, el agua de suministro es tratada y enviada al tanque de condensados. Posteriormente, gracias a la ayuda de una bomba, el agua del tanque de condensados es suministrada a la caldera.

La caldera cuenta con un tanque de suministro de diésel, auxiliado por una bomba y sus respectivos filtros.

4.1- LEVANTAMIENTO

Una vez que tenemos el vapor en la caldera, es enviado al distribuidor, que permite alimentar diversos equipos, en este caso, para el ciclo el vapor es enviado a la etapa de sobrecalentamiento.

Posteriormente se hace ingresar a la turbina de vapor, misma que acoplada a un generador que proporcionara un voltaje y corriente proporcional a la cantidad de vapor suministrado.

El vapor que ya cedió energía a la turbina, es enviado al intercambiador de calor, donde cede su energía al agua de enfriamiento, para provocar un cambio de fase, de vapor saturado a líquido saturado.

El líquido saturado es enviado al tanque de condensados, o en su defecto, es desechado según sea el caso de las prácticas.

Para tener una idea clara de la instrumentación de los equipos, los datos obtenidos se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Lista de instrumentos.

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	SENSIBILIDAD
T1	termopar tipo J de 0 a 250°C conectado a la salida de la turbina Coppus	2°C
T2	termopar tipo J de 0 a 250°C conectado a la entrada de la turbina Coppus	2°C
T3	termopar tipo J de 0 a 250°C conectado a la línea de alimentación de la turbina Coppus	2°C
T4	termómetro mercurial 0-90°C, ubicado en intercambiador de calor, en la salida del agua de enfriamiento	0.5°C
T5	termómetro mercurial 0-90°C, ubicado en intercambiador de calor, en la salida de vapor	0.5°C
T6	termómetro mercurial 0-90°C, ubicado en intercambiador de calor, en la entrada de vapor	0.5°C
T7	termómetro mercurial 0-90°C, ubicado en intercambiador de calor, en la entrada de agua de enfriamiento	0.5°C
T8	termómetro de 0-150°C, ubicado en el tanque de condensados	1°C
T9	termómetro tubular de 0-300 °C ubicado en la trampa de vapor.	2.5°C
M1	manómetro tipo Bourdon de -1 a 4 bar conectado a la salida de la turbina Coppus	0.125 bar
M2	manómetro tipo Bourdon de 0-16 bar conectado a la entrada de la turbina Coppus	0.5 bar
M3	manómetro tipo Bourdon de 0-16 bar conectado a la línea de alimentación de la turbina Coppus	0.5 bar
M4	Vacuometro ubicado en el intercambiador de calor de -1 a 0 bar, -760 a 0 mmHg	0.025bar 20 mmHg
M5	manómetro tipo Bourdon de $0 - 21 \frac{kg}{cm^2}$, $0 -$	$0.1 \frac{kg}{cm^2}$

4.1- LEVANTAMIENTO

	300 $\frac{lb}{in^2}$, ubicado en la caldera Clayton	2.5 $\frac{lb}{in^2}$
M6	manómetro tipo Bourdon de 0 – 21 $\frac{kg}{cm^2}$, 0 – 300 $\frac{lb}{in^2}$, ubicado en la trampa de vapor	0.1 $\frac{kg}{cm^2}$ 2.5 $\frac{lb}{in^2}$
M7	manómetro tipo Bourdon de 0 – 42 $\frac{kg}{cm^2}$, 0 – 600 $\frac{lb}{in^2}$, indica la presión de alimentación de diésel.	0.25 $\frac{kg}{cm^2}$ 2.5 $\frac{lb}{in^2}$
M8	manómetro tipo Bourdon de 0 – 42 $\frac{kg}{cm^2}$, 0 – 600 $\frac{lb}{in^2}$, indica la presión de alimentación de la caldera	0.25 $\frac{kg}{cm^2}$ 2.5 $\frac{lb}{in^2}$
M9	manómetro tipo Bourdon 0 – 7 $\frac{kg}{cm^2}$, 0 – 100 $\frac{lb}{in^2}$, ubicado en el tanque de tratamiento suavizador	0.1 $\frac{kg}{cm^2}$
VOLTMETRO	Voltímetro electrónico de 0-250Vcd conectado al generador de cd	1 V
AMPERIMETRO	amperímetro electrónico de 0-30Acd conectado al generador de cd	0.5 A
TACOMETRO	tacómetro electrónico de 0-4000 rpm conectado al generador de cd	50 rpm
ROTAMETRO	rotámetro conectado a la salida del intercambiador de calor	25 L/h

4.2 VARIABLES DE MEDICIÓN

Una parte fundamental es reconocer los datos a en cada uno de los equipos. Para definirlos, nos auxiliaremos de la teoría del ciclo Rankine antes mencionada, y de las ecuaciones 1 a la 8.

Se puede observar en dichas ecuaciones, para conocer el trabajo entregado por cada uno de los equipos y la eficiencia total del ciclo, es necesario conocer las entalpías en cada uno de los estados termodinámicos mostrados en la figura 2.1.

Para que los alumnos puedan calcular las entalpías y resolver sus respectivas prácticas, se pueden auxiliar de tablas de vapor, diagrama de Mollier o ecuaciones auxiliares. En estas tablas, se puede conocer el valor de entalpía, entropía, energía interna y volumen específico para un determinado estado termodinámico, conociendo los valores de presión y temperatura en cada estado. Estas son las primeras variables identificadas que se requieren medir

4.2.1 Temperatura.- Es una propiedad intensiva de la materia, que nos denota la medida promedio de energía cinético molecular en un estado determinado.

Las escalas de temperatura más utilizadas son grados Celsius y grados Fahrenheit. Los instrumentos comunes para medir temperatura son termómetros de mercurio y digitales.

4.2.2 Presión.- Es una propiedad intensiva de la materia, que es el resultado de un conjunto de fuerzas aplicadas en un área determinada. Las unidades utilizadas para medir la presión son Pascal, Bar, PSI, PSIG. Los instrumentos utilizados para medirla pueden ser manómetros diferenciales, de tipo Bourdon, Barómetro, Vacuometro.

Para realizar los cálculos de intercambio de energía dentro del ciclo, es necesario conocer el flujo másico del fluido de trabajo.

4.2.3 Flujo másico.- Nos expresa la cantidad de materia que fluye por unidad de tiempo. Las escalas utilizadas son kg/h, lb/h.

4.2.4 Para conocer la potencia desarrollada en el generador, es necesario medir el voltaje, corriente y rpm del mismo.

Voltaje.- O diferencia de potencial, es el trabajo por unidad de carga eléctrica ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula para que ésta se mueva de un lugar a otro.

Corriente.- Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un conductor eléctrico.

4.2.5 Velocidad angular.- Es la rapidez con que varía la posición angular con respecto al tiempo, es posible medirla en radianes/s o rpm.

4.2.6 Torque.- Es el efecto producido por una fuerza multiplicada por un brazo de palanca para hacer girar un elemento.

Identificadas y medias las variables físicas de nuestro interés, es importante remarcar cuales y cuantas de estas variables serán medidas en los respectivos equipos del ciclo.

4.2.7 Generador de vapor (ver figura 4.2). Las variables que deben considerarse para el generador de vapor son los siguientes:

- Presión en el tanque de tratamiento de agua.
- Presión del agua de alimentación de la caldera.
- Presión de combustible de alimentación de la caldera.
- Presión en la trampa de vapor.
- Presión de vapor en la caldera.
- Temperatura de vapor en la caldera.



Figura 4.2. Instrumentos de medición del generador de vapor

4.2.8 Turbina Coppus y generador de corriente (ver figura 4.3). Las variables que se desean medir en la turbina y el generador son:

- Presión en la línea de alimentación de vapor.
- Temperatura en la línea de alimentación de vapor.
- Presión de vapor a la entrada de los álabes de la turbina.
- Temperatura de vapor a la entrada de los álabes de la turbina.
- Presión de vapor a la salida de la turbina.
- Temperatura de vapor a la salida de la turbina.
- Voltaje del generador de c.c.
- Corriente del generador de c.c.

- Velocidad angular de generador de c.c.
- Par desarrollado por la turbina Coppus



Figura 4.3. Instrumentos de medición de la turbina Coppus y el generador.

4.2.9 Intercambiador de calor y tanque de condensados. Las variables que se desean medir en los equipos mencionados son:

- Temperatura de vapor a la entrada del intercambiador.
- Temperatura de vapor a la salida del intercambiador.
- Temperatura del agua de enfriamiento a la entrada del intercambiador.
- Temperatura del agua de enfriamiento a la salida del intercambiador.
- Presión de vapor en el intercambiador.
- Flujo de agua de enfriamiento en el intercambiador.
- Temperatura en el tanque de condensados.

4.3 SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los sensores son una parte de gran relevancia dentro del sistema, estos serán los encargados de convertir las variables físicas medidas en señales eléctricas analógicas.

Para cada variable que deseamos medir, existen diversos tipos de sensores, que pueden ser clasificados de acuerdo a su principio de operación, el tipo de variable a medir, el tipo de señal que entregan, etc.

En este trabajo los clasificaremos de acuerdo al tipo de variable física a medir.

4.3.1 Temperatura. Para las mediciones de temperatura, existen 3 tipos de sensores que son los más utilizados, estos son los termistores, termopares y RTD.

- **Termistores.-** Los termistores (ver figura 4.4) son sensores de temperatura de tipo resistivo. El nombre de termistor nace de la contracción de las palabras inglesas “thermal” y “resistor” (resistencia a la temperatura). Los termistores se dividen en 2 grupos atendiendo al signo del coeficiente de temperatura a la resistencia: NTC (Negative Temperature Coefficient) que presentan un coeficiente de temperatura negativo y PTC (Positive Temperature Coefficient) con un coeficiente de temperatura positivo.

Dentro de esta clasificación, los termistores NTC son los de mayor aplicación para la medición de temperatura, ya que las PTC no tienen un modelo matemático que aproxime el comportamiento de su resistencia en función de la temperatura.



Figura 4.4. Termistores NTC (Elemon 2013)

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Las NTCs son resistencias hechas de un material semiconductor cuya resistencia disminuye cuando aumenta la temperatura, y están constituidas por una mezcla de óxidos metálicos. Generalmente se utilizan combinaciones de Ni-Mn-O, Ni-Cu-Mn, y Ti-Fe-O. En su funcionamiento, básicamente el incremento de temperatura provoca un incremento en la conductividad eléctrica del material.

Las NTC se clasifican en dos grupos atendiendo a la forma en que se unen los cables al cuerpo de la NTC.

- Termistores tipo bead.
- Termistores metalizados.

En los termistores tipo bead, los cables se sinterizan junto al cuerpo del termistor. En los termistores metalizados los cables se conectan a la superficie del termistor que previamente se ha metalizado.

Los termistores tipo bead son más estables y soportan mayores temperaturas (hasta 550°C) que los metalizados, por el contrario, su tolerancia y su coste son mayores. Las tolerancias de fabricación de termistores convencionales suelen ser elevadas ($\pm 20\%$ en los bead y $\pm 5\%$ en los metalizados).

La ecuación más sencilla que reproduce el comportamiento de un termistor ideal es la siguiente:

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (11)$$

Para evaluar los parámetros R_0 y B se necesitan 2 puntos de calibración, donde se obtendrán 2 valores resistivos, tenemos la ecuación 12:

$$B = \frac{1}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}} \ln \frac{R_0}{R_1} \quad (12)$$

Los fabricantes utilizan el parámetro B como una constante asociada al material con que se fabrica el termistor y suele variar entre 2000 a 6000°K.

La medición de temperatura es la aplicación más común de las NTC. Generalmente se selecciona una NTC de resistencia nominal alta y con un buen acoplamiento térmico con el objeto cuya temperatura se desea medir. Un aspecto crítico es el autocalentamiento, que debe hacerse despreciable ya que introduce errores en la medida. Otro aspecto importante es la linealización, existen básicamente 2 técnicas para linealizar: el dominio digital y el dominio analógico. En el dominio digital, la estimación de temperatura se realiza con independencia de la linealidad, para ello se utiliza un modelo del termistor que calcula el valor correspondiente de temperatura a partir de la medida del valor resistivo. En el dominio analógico suele añadirse una resistencia en serie o en paralelo con el termistor para conseguir una respuesta que se aproxime más a la lineal.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- **RTD.-** Los metales se caracterizan por poseer coeficientes térmicos positivos de variación de la resistencia eléctrica; ello es producto de que al aumentar en los mismos la energía interna aumenta su resistividad. Esta propiedad se utiliza para diseño y construcción de los RTD (Resistance Temperature Detector, ver figura 4.5).

Si se tiene un conductor metálico de resistividad ρ , longitud l y área de la sección transversal A , su resistencia vendrá dada por la ecuación 13:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (13)$$

Si el volumen y la masa del hilo son muy pequeños en comparación con los del medio de trabajo, sin apenas intercambiar energía con el mismo, en equilibrio térmico, el hilo presentará una resistencia R_{Ta} proporcional a la temperatura T_a . Si la temperatura del medio se incrementa hasta que $T_b > T_a$, la resistividad ρ cambia. Entonces, la resistencia R del hilo cambiará linealmente con la resistividad y ésta, a su vez, con la temperatura. Así se deduce que ante un cambio en la temperatura del medio ΔT se producirá un cambio ΔR en la resistencia RTD linealmente dependiente de éste.



Figura 4.5. RTD 4 puntas. (Electronic components 2013)

El modelo matemático que mejor se adecua a la curva de calibración de una RTD, se presenta en la ecuación 14:

$$R_D = R_{RD}(1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2 + \gamma\Delta T^3 + \dots) \quad (14)$$

Por lo general los valores de los coeficientes β y γ son muy pequeños respecto al valor de α cuando se pretende aplicar en un margen limitado de temperaturas, por lo que, sin cometer un gran error para las aplicaciones más generales de instrumentación, el modelo es el mostrado en la ecuación 15.

$$R_D = R_{RD}(1 + \alpha\Delta T) \quad (15)$$

La RTD es un sensor de temperatura resistivo metálico de coeficiente térmico positivo muy utilizado en la práctica para la medición de la temperatura de medios y superficies, gracias a su gran variedad de formas constructivas. En particular, las de platino ofrecen

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

las mejores características de linealidad y estabilidad temporal por lo que son las más utilizadas para la medición de temperaturas en el margen de -200 a 800°C.

El circuito acondicionador por excelencia es el puente de Wheatstone alimentado con fuentes de tensión y/o corriente. El primer caso es el más utilizado en la práctica debido a la dificultad de lograr fuentes de corriente de algunos miliamperios con gran estabilidad temporal y térmica, aunque los resultados son mejores si se utilizan fuentes de corriente. Su uso conjunto con amplificadores de instrumentación que ofrezcan salidas de tensión para excitar puentes debe ser evaluado como una solución ventajosa.

- **Termopares.-** Son sensores de temperatura (ver figura 4.6) constituidos por 2 metales diferentes cuya característica principal es que produce una tensión proporcional a la diferencia de temperaturas entre los puntos de unión de ambos metales. En el principio de funcionamiento del termopar intervienen:
- Efecto Seebeck
 - Efecto Peltier
 - Efecto Thomson

El efecto Seebeck fue descubierto por Thomas Johan Seebeck en 1821, que observó que si se tienen dos conductores diferentes formando un circuito cerrado y una de las uniones está a temperatura T_1 y la otra a una temperatura diferente T_2 , aparece una fuerza electromotriz que da lugar a la circulación de una corriente que se mantiene mientras las temperaturas sigan siendo diferentes. Si se abre el circuito, aparece una tensión entre las terminales.

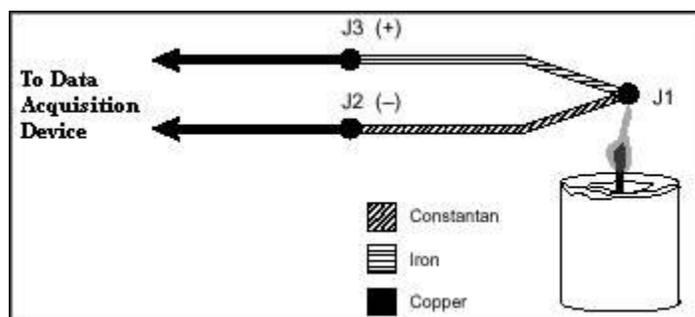


Figura 4.6. Diagrama general termopar.
(National Instruments 2013)

Jean C.A. Peltier descubrió un fenómeno inverso consistente en que, si se hace circular una corriente por el termopar, una de las uniones se calienta y la otra se enfría. Además, si se invierte el sentido de la circulación de la corriente, la unión que se calienta y la que se enfría se invierte.

William Thomson descubrió que cuando se hace circular una corriente constante a través de un conductor en el que uno de sus extremos se mantiene a diferente temperatura que el otro, se produce una transferencia de calor proporcional, aproximadamente, al producto de la corriente por el gradiente de temperatura. Si se invierte el sentido de la circulación de la corriente, también se invierte el sentido de la transferencia de calor.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Aunque el termopar puede constituirse con dos metales cualesquiera, la necesidad de una elevada sensibilidad, estabilidad a lo largo del tiempo, linealidad, ha llevado a que tan sólo se utilicen determinados materiales dando lugar a diferentes tipos. Los más importantes son J, K, N, T, R, S, y B. Los cuatro primeros se conocen con el nombre de termopares de metales base porque están hechos de metales comunes como el cobre, níquel, aluminio, mientras que los R, S y B se conocen como termopares de metales nobles porque están hechos de platino y rodio (ver tabla 4.2).

Tabla 4.2. Tipos de Termopares.

Tipo	Composición (terminal positivo-negativo)	Rango de medida	Sensibilidad
J	Fe - Constantán	0 a 760 °C	51.5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
K	Cromel – Alumel	-200 a 1250°C	40.5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
N	Nicrosil – Nisil	0 a 1260°C	26.5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
T	Cu – Constantán	-200 a 350°C	41 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
R	13% Pt 87% Rh – Pt	0 a 1450°C	6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
S	10% Pt 90% Rh – Pt	0 a 1450°C	6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
B	30% Pt 70% Rh – 6%Pt 94% Rh	800 a 1800°C	9 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

El termopar (ver figura 4.7) proporciona una tensión de pequeño valor proporcional a la diferencia de temperaturas entre dos uniones. Además, la sensibilidad es del orden de micro voltios por grado centígrado. Entonces, en el acondicionamiento de señal, se tomará en cuenta:

- El circuito de acondicionamiento que consistirá, básicamente, en un amplificador de tensión.
- Para determinar la temperatura objeto de la medida será necesario conocer la temperatura de la otra unión.



Figura 4.7. Termopares más utilizados.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para determinar la temperatura de unión existen 3 métodos:

- Compensación mediante uniones de referencia
- Compensación digital
- Compensación analógica

Mediante uniones de referencia.- Consiste en fijar en un valor conocido la temperatura de una de las uniones. Se introduce en un baño de hielo y agua para garantizar 0°C. Se trata de un método que solo se utiliza en laboratorios.

Compensación digital.- Consiste en medir la temperatura de la unión fría mediante otro sensor de temperatura. Una vez conocida la temperatura de la unión fría y la tensión que proporciona el termopar se puede determinar la temperatura de unión caliente. Además, utilizando un microcontrolador permite utilizar aproximaciones polinómicas a la curva de calibración consiguiendo una elevada exactitud.

Compensación analógica.- Las curvas de calibración de los termopares habituales muestran la tensión que proporcionan siempre que la unión fría esté a 0°C. Para una temperatura de la unión caliente T_c , y de la unión fría T_f , cualquiera, la tensión proporcionada V_{T_c, T_f} , sería aplicando las temperaturas intermedias:

$$V_{T_c, T_f} = V_{T_c, 0} + V_{0, T_f} \quad (16)$$

Así, el objetivo de la compensación analógica es sumar la tensión que proporciona el termopar V_{T_c, T_f} , la tensión $V_{T_f, 0}$ que correspondería al mismo termopar en el que las temperaturas de las uniones fueran T_f y 0°C. A partir de la tensión resultante se puede determinar la temperatura de la zona caliente aplicando directamente la curva de calibración. Para ello será necesario, evidentemente, medir la temperatura de la zona fría con otro sensor y realizar un circuito de acondicionamiento que proporcione la tensión a sumar.

4.3.2 Presión.- Casi la totalidad de los sensores para la medida de presión (ver figura 4.8) emplean algún tipo de dispositivo mecánico que se deforma y cuya deformación se traslada al sensor propiamente dicho.

El tipo de sensor eléctrico final determina la denominación del sensor de presión con lo que tendremos sensores potenciométricos, inductivos, capacitivos, piezoeléctricos y ópticos, con las ventajas e inconvenientes inherentes a cada uno de estos tipos.



Figura 4.8. Sensores de presión

- **Sensores potenciométricos.-** La mayoría de ellos utilizan el tubo de Bourdon cuyo extremo mueve el cursor de un potenciómetro circular. La presencia de la histéresis mecánica propia de los potenciómetros junto con sus limitaciones hace de este sensor un dispositivo de bajas prestaciones y bajo costo, lo que lo faculta para aplicaciones sencillas. Los rangos de medida de este dispositivo son entre 35kPa y 70 MPa.
- **Sensores inductivos.-** El conjunto está formado en la mayoría de los casos por un LVDT y un dispositivo de tipo diafragma. La principal ventaja se encuentra en el LVDT cuya precisión es muy alta aunque presenta limitaciones frecuenciales, presenta problemas de interferencia magnética. Tiene los mismos rangos de medida que los potenciométricos con mayor precisión.
- **Sensores capacitivos.-** Utilizando un diafragma metálico como placa-electrodo de un condensador y otra placa fija se puede construir un sensor de presión capacitivo de buenas prestaciones con la limitación de que se ve afectado por las vibraciones. Esta limitación es muy seria cuando el sensor está previsto para trabajar con bajas presiones ya que la construcción del diafragma incluye material muy fino con alta sensibilidad. Este tipo de sensor es de los más habituales.
- **Sensores piezoeléctricos.-** Si el sensor eléctrico es un dispositivo piezoeléctrico, se tiene un sensor de presión capaz de funcionar de forma bidireccional, es decir, es capaz de producir una señal eléctrica cuando se le aplica una presión o de ocasionar el movimiento cuando se le excita con una señal eléctrica. El principal problema es trabajar con excitaciones constantes.
- **Sensores ópticos.-** Se basan en el cambio de los niveles de luz entre un emisor y un receptor cuando la presión modifica un elemento mecánico. El modo de funcionamiento puede ser por cambios en la reflexión o interrupción del haz. Tienen un rango de medición que va desde los 35kPa hasta 400 MPa.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- Para seleccionar correctamente el sensor de presión es necesario tomar en cuenta:

La compatibilidad química.- En muchos casos, las medidas de presión se hacen en medios que pueden ser muy agresivos para el sensor y que podrían suponer su degradación progresiva, o incluso, su destrucción inmediata. El sensor debe ser elegido acorde con el medio sobre el que se va a medir para evitar su mal funcionamiento.

Soportar sobrepresiones.- Este criterio es uno de los más importantes por seguridad. Establece la capacidad del sensor de soportar una presión superior al margen de medida sin que sea destruido o dañado, esto debe tomarse en cuenta ya que en muchas ocasiones las líneas de presión son superiores a lo previsto.

Margen de temperatura.- La temperatura de trabajo del sensor afecta a la medida por lo que deberá tomarse en cuenta en el propio sensor, ya que fuera de los rangos de temperatura de trabajo, la medida es incorrecta o el sensor es dañado.

4.3.3 Flujo

La medida de flujo que circula por una tubería o por un canal es un parámetro que tiene una gran importancia a nivel industrial, son bastante complejas, por lo tanto se deben considerar diversos factores para la correcta selección, que son:

- **Tipo de información.-** Continua o totalizada. La información continua proporciona el valor del parámetro en tiempo real lo que permite conocer la situación del conducto en cada momento. En muchas ocasiones, resulta más relevante la totalización del fluido que ha circulado en un determinado tiempo.
- **Propiedades del fluido.-** Las propiedades físicas del fluido pueden invalidar el empleo de determinado tipo de sensores. Se deben considerar parámetros como densidad, viscosidad, presión, toxicidad, inflamabilidad, presencia de sólidos en suspensión, fluido abrasivo, etc.
- **Lugar de medición.-** Se debe tomar en cuenta el tamaño de los conductos, la presencia de válvulas, vibraciones, campos magnéticos, riesgos de explosión.

Los tipos de sensores para medir flujo se muestran en la figura 4.9 y se describen a continuación:



Figura 4.9. Sensores de flujo o caudal.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- **Sensores que miden presión diferencial generada.-** Se basan en el efecto que determinados obstáculos producen sobre el fluido produciendo una diferencia de presión entre un punto anterior y posterior al obstáculo en función del flujo que circula.

La medida final que se realiza es de presión diferencial y, a partir de ella, se obtendrá la correspondiente medida de flujo.

- **Sensores de sección variable.-** Estos sensores modifican la sección que dejan libre para el paso del fluido mediante una pieza móvil para mantener constante la pérdida de presión. La variable que se mide es la posición de la pieza móvil como en el caso de los rotámetros. La variable final desplazamiento o posición se mide por diversas técnicas. Estos sensores deben ser situados siempre en vertical y suelen ser útiles para la medida de flujos de gases y no sirven cuando haya partículas en suspensión que puedan adherirse a la pieza móvil y causar un cambio en su tamaño, en su peso o en su superficie.
- **Sensores mecánicos rotativos.-** Emplean una pequeña turbina con álabes cuya velocidad de giro depende de la velocidad del fluido. La velocidad de giro de la turbina, producida por la velocidad del fluido, se puede medir. Se debe tomar en cuenta que la presencia de partículas o sustancias que puedan adherirse a los álabes es muy perjudicial, esto obliga a operaciones frecuentes de mantenimiento y limpieza.
- **Sensores basados en efectos térmicos.-** La transmisión de calor entre dos puntos de una corriente de fluido pueden ser empleados para la medida de flujo. Estos sensores son problemáticos, ya que la relación de la variable a medir (temperatura del termistor) depende de muchos factores tales como si el flujo es laminar o turbulento, características del fluido, tubería. Por ello los sensores de este tipo suelen estar calibrados para determinados fluidos.
- **Sensores magnéticos.-** Se utilizan en determinados fluidos que incluyen partículas cargadas sometidos a un campo magnético que provoca la deflexión de las partículas y, consecuencia, la presencia de una diferencia de tensión entre extremos, en un efecto muy parecido a lo que constituye la base del efecto Hall. No es frecuente que se tengan fluidos con partículas cargadas por lo que, en muchas ocasiones, estas partículas se añaden a fluido lo que es posible siempre que el fluido no sea conductor como el caso de los aceites.

4.3.4 Medidas eléctricas

Los métodos más utilizados para medir tensión y corriente son resistencias shunt, sensores de efecto Hall, y sensores magnetorresistivos.

- **Resistencia Shunt** (ver figura 4.10).- La forma más simple de medir corriente eléctrica es colocar una resistencia en serie con la carga y medir la caída de tensión en ella. A fin de minimizar la disipación de potencia en dicha resistencia, su valor ha de ser el menor posible, lo cual conlleva la necesidad de una amplificación de tipo diferencial. El inconveniente es la falta de aislamiento galvánico entre el circuito de potencia y el de medida, lo cual obliga al uso de amplificadores de aislamiento.

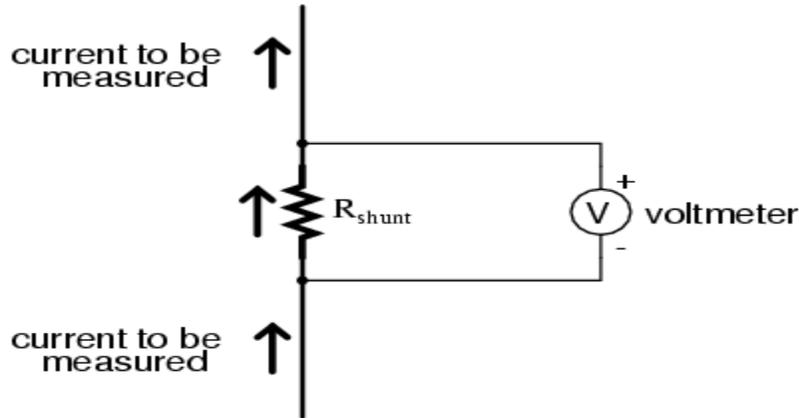


Figura 4.10. Resistencia shunt (Amperis 2013)

- **Sensores de efecto Hall.-** La medida de corriente puede realizarse en bucle abierto o bucle cerrado. El bucle cerrado aporta mejoría en exactitud, linealidad, derivas, esto se debe a que integra un circuito de compensación que mantiene nulo el flujo magnético en el núcleo, con lo que se elimina la influencia de las no linealidades del núcleo y se reducen los efectos de la temperatura en el efecto Hall.

La medida de tensión con sensores de efecto Hall está basada en el mismo principio que la medida de corriente. La principal diferencia está en el circuito primario, en el que se ha incrementado el número de espiras, de forma que la corriente primaria sea baja, con un consumo mínimo en el circuito de medida. Para medir la tensión se lleva al sensor una corriente primaria equivalente mediante una resistencia en serie con el devanado primario.

La salida entregada por estos sensores puede ser en corriente o en tensión. La salida típica en corriente es de 4-20mA. La salida en tensión típica es de 0-10V, idónea para su uso con amplificadores de instrumentación.

- **Sensores magnetorresistivos.-** La resistencia eléctrica de muchos materiales magnéticos depende del campo magnético aplicado. La razón de tales variaciones de resistencia se debe al spin de los electrones, ya que las nubes de electrones que rodean a los átomos se orientan según el campo magnético y pueden dificultar el paso de la corriente según la posición que adopten.

Los sensores magnetorresistivos son unas 200 veces más sensibles que los sensores de efecto Hall de corriente en bucle cerrado, se integra en la misma estructura un conductor de compensación que al circular por él, la corriente crea un campo magnético que compensa el creado por la corriente a medir.

La disposición interna que suelen presentar estos sensores, es la de un puente de Wheatstone con 2 o 4 magnetorresistencias. En cada rama del puente las magnetorresistencias tienen sensibilidad opuesta a la acción del campo magnético, lo que permite reducir su dependencia con la temperatura, así como la influencia de campos magnéticos externos.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La corriente eléctrica (continua o alterna) puede ser medida con estos sensores, mediante la detección del campo magnético que dicha corriente genera.

Existen 3 tipos de magnetorresistencias:

- Anisotrópicas (AMR).- Generalmente, están compuestas de una fina película de hierro – níquel. La variación máxima de la resistencia es del 2-3% en presencia de campo magnético y el ancho de banda llega a 15MHz.
- Gigantes (GMR).- Fueron desarrolladas a partir de 1988. Presentan una estructura multicapa obteniéndose variaciones de resistencia de hasta 50%.
- Colosales (CMR).- De desarrollo aún más reciente, presentan variaciones de resistencia de hasta 99%.

Los sensores del tipo GMR permiten variaciones de resistencia mayores, obteniéndose un nivel de salida mayor que con los AMR. La tensión de salida máxima es de 0.3 V, por lo que es necesaria una etapa de amplificación posterior.

4.3.5 VELOCIDAD ANGULAR

- **Sensores electromagnéticos rotativos.-** Estos sensores miden la velocidad angular, son generadores especiales de corriente continua o alterna. En función del tipo de señal que producen, se denominan dinamos tacométricos y alternadores tacométricos.
- **Dinamo tacométrico.-** El estator está formado por un número de polos n , constituidos por imanes permanentes o por devanados por los que circula una corriente continua, de tal manera que el flujo magnético que produce es constante. Al girar el eje con una velocidad angular ω , las líneas de flujo magnético son cortadas por las espiras de la bobina del rotor induciéndose en ellas una tensión proporcional en magnitud a la velocidad angular y de polaridad dependiente del sentido de giro del eje. Las bobinas se conectan al colector giratorio y mediante unas escobillas fijas se conectan a los terminales de salida a y b. La forma de onda que se obtiene entre los terminales a y b corresponde con la suma de un gran número de semisenoides, por lo que contiene una componente de continua de gran valor y un rizado cuya frecuencia depende del número de polos y de la velocidad angular del rotor. Se comercializa en márgenes de salida de 0-10 V y de 0-5 V, y una gran gama de valores de velocidad angular.
- **Alternadores tacométricos.-** Son generadores de corriente alterna que tienen la ventaja sobre los de continua de no utilizar escobillas ni colector, con lo que su mantenimiento es menos costoso. En estos sensores, la tensión se introduce en el devanado del estator y que aparece entre los puntos a y b, es proporcional en magnitud y frecuencia a la velocidad angular del eje ω , pero es una señal alterna, por lo que si quiere que la salida sea una señal de continua requiere de un sistema que realice la rectificación y filtrado de esta señal. Los alternadores tacométricos comerciales incorporan la rectificación y filtrado, y algunos ofrecen salidas de continua y de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad angular.
- **Tacogenerador de reluctancia variable.-** Este sensor cuenta con una rueda dentada de material ferromagnético y de m dientes unida al eje donde se desea medir la velocidad angular ω . Esta rueda, al girar muy próxima a un devanado sobre un imán

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

permanente, hace que el flujo Φ varíe con el tiempo al variar la reluctancia del circuito magnético con la sucesión de dientes – espacios de la rueda.

La tensión de salida entregada por el sensor depende de la amplitud y frecuencia, estos parámetros a su vez, dependen de la velocidad angular del disco, por lo que la señal de salida depende de la velocidad angular medida.

4.3.6 Torque

Para la medición del torque generado por la turbina, se propone utilizar una celda de carga, este dispositivo nos indica la magnitud de la fuerza generada, que multiplicada por el brazo de palanca, nos entrega la variable deseada.

Una celda de carga se compone de 4 galgas extensiométricas colocadas en un arreglo llamado puente de Wheatstone (ver figura 4.11). Al ser 4 elementos, se tiene una configuración de puente completo.

Las galgas extensiométricas miden la deformación para determinar la carga aplicada sobre ellas. Este proceso se realiza comparando la deformación sufrida contra la longitud inicial, esta relación, varía de forma directamente proporcional a la carga aplicada sobre el elemento, al detectar esta deformación y conociendo las características físicas del elemento, es posible calcular la fuerza, esto se debe a que en una galga extensiométrica, la resistencia eléctrica del material varía en función a la carga aplicada.

Debido a que los cambios en la longitud, y por lo tanto en la resistencia del material son muy pequeños, es necesario utilizar circuitos de acondicionamiento para amplificar las señales, en este caso, la configuración más utilizada es el puente de Wheatstone de 4 ramas con una tensión de excitación que se aplica en los extremos del puente.

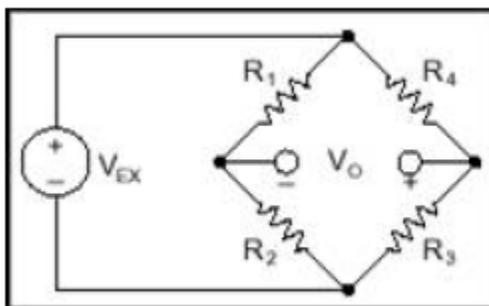


Figura 4.11. Puente de Wheatstone completo.
(National Instruments 2013)

Donde la tensión de salida se calcula con la ecuación siguiente:

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{EX} \quad (17)$$

Para el funcionamiento de las celdas de carga, que consisten en 4 galgas extensiométricas, es necesario proporcionar un voltaje de excitación, que puede variar

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

entre los 2V y 10V, donde se debe tener cuidado, ya que una tensión de alimentación mayor proporciona una tensión de salida proporcional, pero se pueden tener problema debido al autocalentamiento de las galgas.

En la práctica, las celdas de carga proporcionan una señal de salida de menos de 10 mV/V (10 mV de salida por cada volt de excitación), por lo tanto, después de la configuración del puente de Wheatstone, es necesario amplificar la señal obtenida. Para este proceso, es utilizado un amplificador de instrumentación de 3 operacionales (ver figura 4.12).

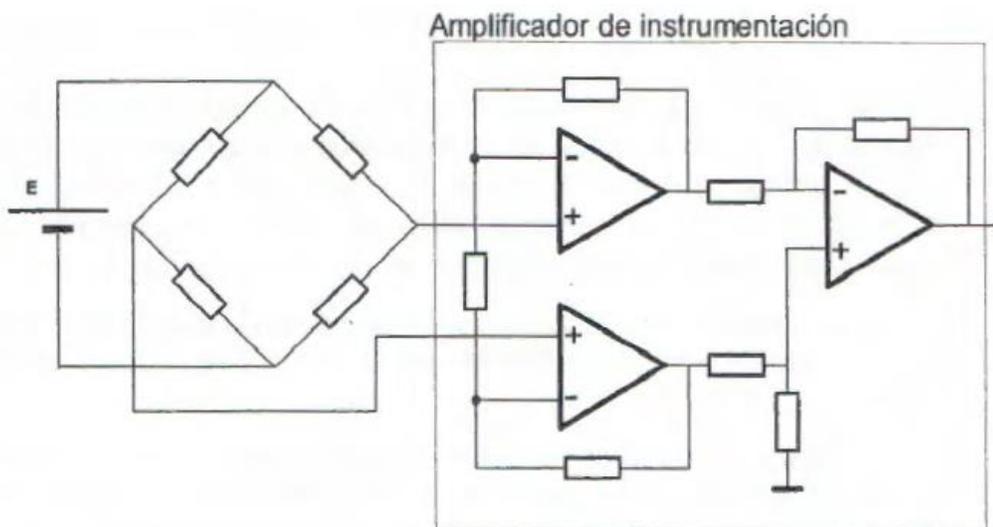


Figura 4.12. Puente de Wheatstone con amplificador de instrumentación.
(Instrumentación electrónica, 2006)

4.3.7 Instrumentos seleccionados.

- **Temperatura.**-Entre los termopares, RTD y termistores, existen diversas clasificaciones para cada uno. Los diversos factores a considerar para seleccionar el tipo de sensor serán los siguientes:
 - **Rango de medida.**- Es uno de los factores más importantes. Los RTD pueden llegar a un rango entre -200°C hasta 600°C . Los termopares, dependiendo el tipo, pueden trabajar a una temperatura máxima de 1800°C , y los termistores tienen un rango máximo de 550°C , aunque la mayoría de estos solo alcanza los 150°C .
 - **Intercambiabilidad.**- Los RTD y termopares están perfectamente caracterizados, cada fabricante proporciona los cambios de resistencia y tensión proporcionada respectivamente, en cuanto a los termistores, estos requieren de calibración cada que es remplazado uno de estos sensores.
 - **Tolerancias.**- Los tres tipos de sensores mencionados tienen un rango de tolerancias similar, con la limitación de los termistores en cuanto al rango de temperatura de trabajo.
 - **Costos.**- En cuanto a costos, ordenados de mayor a menor son termistores, RTD y termopares. El costo mayor de un termistor y un RTD, y considerando que estos 2 sensores necesitan de una fuente de excitación para trabajar, hacen que el

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

termopar sea la mejor opción, ya que es de bajo costo, tiene rangos de medida apropiados, linealidad, el acondicionamiento de señales necesario para termopares lo pueden proporcionar diversas tarjetas de adquisición de datos.

En la figura 4.13 podemos observar los rangos de medición de cada uno de los tipos de termopares. De acuerdo a los datos obtenidos de prácticas previamente realizadas, la temperatura máxima alcanzada dentro del ciclo Rankine es de 270 °C, y la más baja es la temperatura ambiente. Considerando el factor de temperatura, el ambiente de trabajo, la tensión proporcionada, el tipo de termopar óptimo para los diversos puntos del ciclo Rankine es el tipo J.

A continuación se muestran los datos técnicos del termopar tipo J.

TABLE 7 Type J Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-210	-8.095											-210
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.975	-7.995	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.095	-200
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890	-190
-180	-7.405	-7.429	-7.453	-7.476	-7.500	-7.523	-7.546	-7.568	-7.590	-7.611	-7.633	-180
-170	-7.123	-7.147	-7.171	-7.194	-7.217	-7.239	-7.261	-7.283	-7.304	-7.325	-7.346	-170
-160	-6.821	-6.845	-6.868	-6.891	-6.914	-6.936	-6.957	-6.978	-7.000	-7.021	-7.042	-160
-150	-6.500	-6.523	-6.546	-6.568	-6.590	-6.611	-6.632	-6.653	-6.674	-6.695	-6.716	-150
-140	-6.159	-6.182	-6.205	-6.227	-6.249	-6.270	-6.291	-6.312	-6.333	-6.354	-6.375	-140
-130	-5.801	-5.823	-5.845	-5.867	-5.888	-5.909	-5.930	-5.950	-5.971	-5.992	-6.013	-130
-120	-5.426	-5.447	-5.468	-5.489	-5.510	-5.530	-5.551	-5.571	-5.592	-5.612	-5.633	-120
-110	-5.037	-5.057	-5.077	-5.097	-5.117	-5.137	-5.157	-5.177	-5.197	-5.217	-5.237	-110
-100	-4.633	-4.652	-4.671	-4.690	-4.709	-4.728	-4.747	-4.766	-4.785	-4.804	-4.823	-100
-90	-4.215	-4.233	-4.251	-4.269	-4.287	-4.305	-4.323	-4.341	-4.359	-4.377	-4.395	-90
-80	-3.786	-3.803	-3.820	-3.837	-3.854	-3.871	-3.888	-3.905	-3.922	-3.939	-3.956	-80
-70	-3.344	-3.360	-3.376	-3.392	-3.408	-3.424	-3.440	-3.456	-3.472	-3.488	-3.504	-70
-60	-2.893	-2.908	-2.923	-2.938	-2.953	-2.968	-2.983	-2.998	-3.013	-3.028	-3.043	-60
-50	-2.431	-2.445	-2.459	-2.473	-2.487	-2.501	-2.515	-2.529	-2.543	-2.557	-2.571	-50
-40	-1.961	-1.974	-1.987	-1.999	-2.012	-2.025	-2.038	-2.051	-2.064	-2.077	-2.090	-40
-30	-1.482	-1.504	-1.525	-1.546	-1.567	-1.588	-1.609	-1.630	-1.651	-1.672	-1.693	-30
-20	-0.995	-1.025	-1.054	-1.083	-1.112	-1.141	-1.170	-1.199	-1.228	-1.257	-1.286	-20
-10	-0.501	-0.529	-0.557	-0.585	-0.613	-0.641	-0.669	-0.697	-0.725	-0.753	-0.781	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.173	1.224	1.275	1.326	1.377	1.428	1.479	1.530	20
30	1.537	1.589	1.641	1.692	1.743	1.794	1.845	1.896	1.947	1.998	2.049	30
40	2.059	2.111	2.162	2.213	2.264	2.315	2.366	2.417	2.468	2.519	2.570	40
50	2.585	2.636	2.687	2.738	2.789	2.840	2.891	2.942	2.993	3.044	3.095	50
60	3.116	3.167	3.218	3.269	3.320	3.371	3.422	3.473	3.524	3.575	3.626	60
70	3.650	3.701	3.752	3.803	3.854	3.905	3.956	4.007	4.058	4.109	4.160	70
80	4.187	4.238	4.289	4.340	4.391	4.442	4.493	4.544	4.595	4.646	4.697	80
90	4.726	4.777	4.828	4.879	4.930	4.981	5.032	5.083	5.134	5.185	5.236	90
100	5.269	5.320	5.371	5.422	5.473	5.524	5.575	5.626	5.677	5.728	5.779	100
110	5.814	5.865	5.916	5.967	6.018	6.069	6.120	6.171	6.222	6.273	6.324	110
120	6.360	6.411	6.462	6.513	6.564	6.615	6.666	6.717	6.768	6.819	6.870	120
130	6.909	6.960	7.011	7.062	7.113	7.164	7.215	7.266	7.317	7.368	7.419	130
140	7.459	7.510	7.561	7.612	7.663	7.714	7.765	7.816	7.867	7.918	7.969	140
150	8.010	8.061	8.112	8.163	8.214	8.265	8.316	8.367	8.418	8.469	8.520	150
160	8.562	8.613	8.664	8.715	8.766	8.817	8.868	8.919	8.970	9.021	9.072	160
170	9.115	9.166	9.217	9.268	9.319	9.370	9.421	9.472	9.523	9.574	9.625	170
180	9.669	9.720	9.771	9.822	9.873	9.924	9.975	10.026	10.077	10.128	10.179	180
190	10.224	10.275	10.326	10.377	10.428	10.479	10.530	10.581	10.632	10.683	10.734	190
200	10.779	10.830	10.881	10.932	10.983	11.034	11.085	11.136	11.187	11.238	11.289	200
210	11.334	11.385	11.436	11.487	11.538	11.589	11.640	11.691	11.742	11.793	11.844	210
220	11.889	11.940	11.991	12.042	12.093	12.144	12.195	12.246	12.297	12.348	12.399	220
230	12.445	12.496	12.547	12.598	12.649	12.700	12.751	12.802	12.853	12.904	12.955	230
240	13.000	13.051	13.102	13.153	13.204	13.255	13.306	13.357	13.408	13.459	13.510	240

Figura 4.13. Características termopar

- **Presión.-** Como se mencionó anteriormente, existen diversos tipos de sensores de presión de acuerdo al principio de funcionamiento. En el caso del ciclo Rankine, los parámetros que representan la mayor limitante para la selección del tipo de sensor de presión es la temperatura de trabajo y el fluido de trabajo.

El fluido de trabajo (agua) puede presentarse en diversas fases, siendo la fase de vapor sobrecalentado la más importante, ya que la mayoría de los sensores de presión no pueden medir presiones cuando se tiene vapor sobrecalentado, además, las temperaturas de trabajo puede dañar los sensores.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Figura 4.14. Sensor de presión Setra 522
(Setra 2013)

La solución a este problema la tenemos con el sensor de presión Setra 522 (figura 4.14), es un sensor de presión de tipo piezorresistivo. Es capaz de trabajar con vapor saturado, y para soportar la temperatura de trabajo, se debe colocar una válvula y un sifón (ver figura 4.15) antes del sensor.

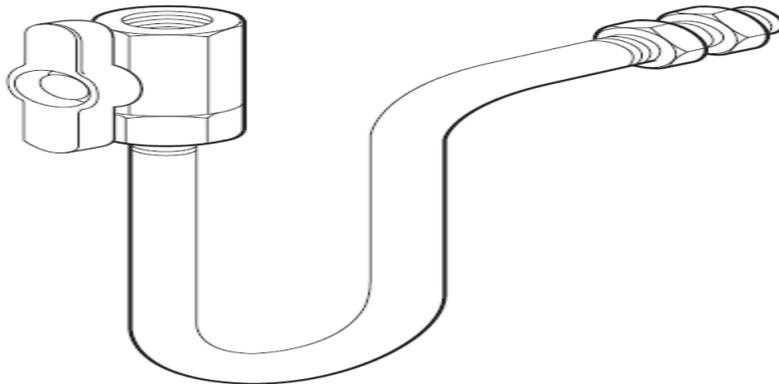


Figura 4.15. Válvula y sifón (Spirax Sarco 2013)

Los datos técnicos del sensor son los siguientes:

Tabla 4.3. Características sensor EL2600

Rango (bar)	Sobrepresión (bar)	Señal salida
-1 a 1	5	4-20 mA
-1 a 4	17	4-20 mA
0 a 10	35	4-20 mA
0 a 16	80	4-20 mA
0 a 25	80	4-20 mA
0 a 40	120	4-20 mA

La temperatura máxima de trabajo es de 100°C, para lograr estas condiciones de trabajo, se debe colocar un sifón tipo U para alta presión, este sifón nos permite trabajar cuando el fluido alcanza condiciones máximas de presión 60 bar y 400°C de temperatura.

El voltaje de alimentación debe estar en un rango de 10 a 30 VDC, lo recomendable es a 24 VDC.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- **Corriente.-** Debido a las características del generador de corriente del laboratorio, que son generar un voltaje máximo de 250 VDC y una corriente máxima de 30 ADC, no es posible utilizar cualquier tipo de sensor, ya que es un equipo de alta potencia.

Dentro de las limitantes encontradas, tenemos la potencia desarrollada por el generador, y que muchos de los dispositivos que pueden trabajar en estas condiciones no se comercializan en nuestro país.

Así tenemos que el dispositivo seleccionado para medir la corriente es el transductor Hawkeye 970 series (ver figura 4.16). Este sensor es la combinación del principio de efecto Hall y un circuito transductor, que es capaz de trabajar en diferentes rangos de corriente, con la posibilidad de seleccionar el tipo de salida.



Figura 4.16. Transductor de corriente Hawkeye 970 (Ampere 2013)

Tabla 4.4. Sensor Hawkeye 970 series.

Rango (A)	Salida (mA, V)
0-20	4-20, 0-5
0-40	4-20, 0-5
Temperatura de trabajo °C	5-55
Sensibilidad	±3%
Alimentación	15-24 VAC/DC

- **Voltaje.-** Al igual que en la medición de corriente, se debe considerar que para el voltaje se está trabajando con alta potencia, el generador puede alcanzar hasta los 250 VDC. En este transductor, el voltaje medido es convertido a una señal que puede ser en rango de mA o VDC. El transductor que es capaz de trabajar en estas condiciones, además de ser fácil de instalar es el MCR-VDC-UI-B-DC de Phoenix Contact (ver figura 4.17), con las siguientes características.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Figura 4.17. Sensor MCR-VDC-UI-B-DC
(Phoenix Contact 2013)

Tabla 4.5 Sensor de voltaje

Rangos de medida (V)	Señal de salida (mA, V)
0-24	-20 a 20, -10 a 10
0-80	-20 a 20, -10 a 10
0-250	-20 a 20, -10 a 10
0-550	-20 a 20, -10 a 10
Alimentación (VDC)	18.5 – 30.2

- **VELOCIDAD ANGULAR.-** La medida de la velocidad angular normalmente se realice con un encoder. La propuesta para medir la velocidad angular del generador, es utilizar el sensor ST420 (ver figura 4.18) de electro sensors.



Figura 4.18. Sensor ST 420 (electro sensors 2013)

Consiste en un disco montado al eje del generador. Este disco posee imanes colocados en la circunferencia del mismo. Posee un sensor que detecta pulsos magnéticos que son emitidos por el disco, este sensor, emite una señal analógica de 4-20 mA uniformemente proporcional a la velocidad de rotación del eje. Esto se logra combinando un detector de

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

pulsos, procesamiento de señal y un circuito de 4-20mA, alimentado externamente por medio de dos conductores, dentro de la cubierta de acero inoxidable del sensor. No necesita calibración, tiene varios rangos de medición e incluso se puede especificar un rango de medida deseado.

El voltaje de alimentación requerido es de 24 VDC, la temperatura de operación del dispositivo es de -20 a 85 °C.

➤ CAUDALÍMETRO

Los sensores para la medición de caudal comercializados, a pesar de brindar gran precisión en las medidas, tienen un costo muy grande, por lo que se optó por utilizar un método alternativo para la medición del caudal en el ciclo Rankine.

El método consiste en colocar un codo en una sección de la tubería que transporta el vapor saturado, y utilizando la ecuación de Bernoulli, calcular la velocidad del fluido.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + k \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

El último término considera las pérdidas sufridas a través del codo, por lo que es posible calcular la velocidad del fluido en función de la diferencia de presiones causada por el accesorio. La ecuación utilizada para calcular la velocidad del fluido es la siguiente:

$$v = C_d \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\gamma}} \quad (19)$$

Calculada la velocidad del fluido, es posible determinar el flujo volumétrico del mismo utilizando la ecuación de continuidad, que en función de los parámetros antes descritos es la siguiente:

$$Q = AC_d \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\gamma}} \quad (20)$$

El término agregado es el área transversal de la tubería.

La diferencia de presiones se obtiene a partir de 2 lecturas de presión obtenidas con los sensores Satra 522 con rango de 0 a 16 bar ubicados antes y después del codo respectivamente.

➤ Torque

Como se mencionó anteriormente, se utilizará una celda de carga para medir el torque, el dispositivo seleccionado es el RL 50210 de Rice Lake (ver figura 4.19). Es una celda que tiene un rango máximo de 226 kg, con una sensibilidad de $3^{mV}/V$, y de acuerdo a

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

parámetros recomendados por National Instruments, la tensión de alimentación debe ser de 2.7 V.



Figura 4.19. Celda de carga RL 50210 (spc 2013)

➤ Tarjetas de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición de datos (DAQ) no operan de forma independiente, estas necesitan de una pc para controlarlas. Hay distintos tipos de DAQ, su principal diferencia es el bus que utilizan para comunicarse con la pc, hay PCI, PCI Express, PXI, USB, Wi-Fi, Ethernet. Las capacidades comunes que suelen tener las DAQ son:

- Adquisición de señales analógicas
- Generación de señales analógicas
- Generación y adquisición de señales digitales
- Contadores y timers
- Triggers

La aplicación utilizada para el ciclo Rankine es la adquisición de señales analógicas. Su estructura está formada por el multiplexor, un amplificador de ganancia programable que se utiliza para adecuar el nivel de la señal al convertidor con el fin de aprovechar todo su rango. La siguiente etapa es el filtrado, un circuito de muestreo y retención (SH) y un convertidor analógico digital (A/D). Finalmente las muestras adquiridas se almacenan en una memoria FIFO (First Input First Output) dentro de la propia tarjeta.

La adquisición de la señal puede ser diferencial, referenciada a un punto o no referenciada.

En la medida diferencial (DIFF) se tendrá en cuenta la diferencia de tensión entre una línea y otra. En este caso, el circuito externo y la tarjeta no tienen una referencia común. Como regla general es preferible una medida diferencial a las otras porque presenta menos ruido y mejor rechazo al modo común.

Las medidas con referencia (referenced single-ended, RSE) sí tienen un punto común entre el exterior y la tarjeta DAQ, que es la terminal AIGND (analog input ground).

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La ventaja de esta medida respecto a la diferencial, es que habrá más canales disponibles, pero todas las entradas deben tener la misma referencia.

En las medidas sin referencia (nonreferenced sigle-ended), la señal exterior y los circuitos de la tarjeta DAQ no tienen una referencia común.

El paso clave en la adquisición de datos es la digitalización. Para ello, se emplea un circuito de muestreo y retención (Sample and Hold) que captura una tensión de entrada y la mantiene estable el tiempo necesario para que el convertor analógico - digital pueda calcular su valor de salida. La tensión ha sido previamente amplificada por el amplificador de instrumentación para ajustarse lo máximo posible al rango del convertor.

Muestrear una señal es obtener el valor de la misma en ciertos momentos; esos valores son muestras de la señal o samples. En la adquisición continua se puede considerar que el tiempo entre una muestra y la siguiente será constante, a esto se le conoce como frecuencia de muestreo.

El siguiente paso es la codificación del valor muestreado a su representación digital. Para esto se divide todo el rango de tensiones de entrada del convertor (ver figura 4.20) en varios niveles y a cada uno de ellos se asocia un código binario. Si el convertor tiene muchos niveles para codificar la señal, necesitará más bits para codificar cada nivel, pero tendrá una mayor fidelidad al reproducir la señal. Al tener un número finito de niveles, se producirá un error que corresponde a la diferencia entre el valor real de la señal analógica y el valor discreto que le es asignado.

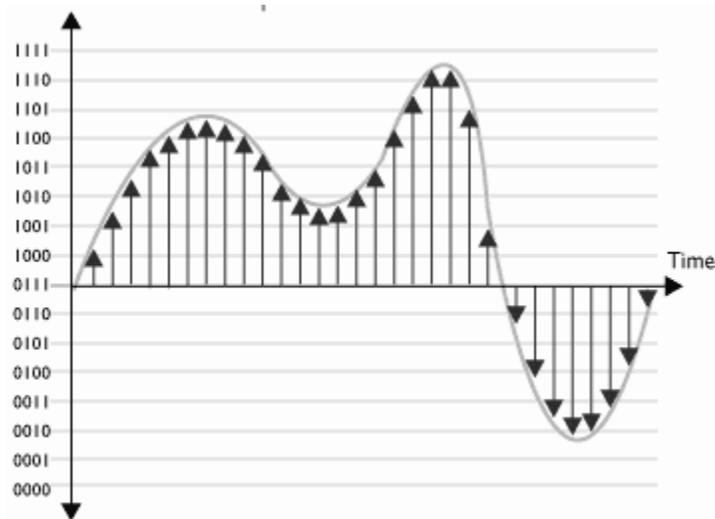


Figura 4.20 .Niveles para conversión A/D. (National Instruments 2013)

La digitalización de las señales analógicas es necesaria para que pueda ser procesada y/o almacenada por ordenadores u otros equipos que trabajan en el dominio digital.

Las DAQ tienen una memoria en la que se almacenan las muestras adquiridas o las que van a ser generadas. Esta memoria es de tipo FIFO. Por su parte, la pc tiene reservado un espacio de memoria para transferir los datos de la tarjeta, que es el buffer.

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En la transferencia de datos entre la tarjeta y el ordenador habrá mayor o menor flujo de información en función de la aplicación. El volcado de datos de una memoria a otra puede realizarse de forma programada, utilizando una transferencia DMA (Direct Memory Access). Este último método suele ser el más eficaz al realizarse todo el proceso sin intervención del CPU. La transferencia es controlada por el DMA que toma posesión del bus, mientras que el CPU puede realizar otras tareas.

Las tarjetas DAQ pueden tener varias FIFO, una para adquisición analógica, otra para generación y otra para canales digitales. Tanto las memorias FIFO como los buffers tienen un tamaño limitado, por lo que se deben evitar los errores de overflow y underflow que se producen si se saturan las memorias.

Para la generación de datos los buffer pueden utilizarse de varias formas. El primer método es parecido a la adquisición, se van almacenando las muestras en memoria y se van generando desde ahí. Almacenar en memoria todas y cada una de las muestras puede suponer un gran tráfico de datos en el bus. Cuando se genera una señal periódica, es más eficiente almacenar todas las muestras en memoria una única vez y repetir el patrón almacenado varias veces, disminuyendo así la transferencia de datos, National Instruments llama a este método regeneración.

Una vez que las muestras están en el buffer, solo resta ordenarlas, escalarlas y asignarles atributos como tiempo, etc.

Como se menciona anteriormente, existen varios tipos de DAQ, que son clasificadas de acuerdo al tipo de puerto utilizado para su comunicación y se describen a continuación:

- **PCI.-** El bus de Interconexión de Componentes Periféricos (PCI) es uno de los buses internos más comunes usados hoy en día. Con ancho de banda compartido de 132 MB/s, PCI ofrece escritura de datos de alta velocidad y transferencia de datos determinística para aplicaciones de control de un solo punto. Hay diferentes opciones de hardware de adquisición de datos para PCI, con tarjetas de E/S multifunción hasta 10 MS/s, hasta 80 canales y hasta 18 bits de resolución.

Diseñadas para rendimiento, las tarjetas de adquisición de datos (DAQ) multifunción de National Instruments tienen precisión de medidas garantizada y pueden usarse en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo automatización de laboratorio, investigación científica, validación de diseño, pruebas de manufactura y aplicaciones OEM embebidas.

- **PCI Express.-** El PCI Express (ver figura 4.21) fue introducido para superar las limitaciones del bus PCI original. Desarrollado y lanzado por Intel hace más de una década, el bus PCI original opera a 33MHz y 32 bits con un pico teórico de ancho de banda de 132 MB por segundo. Usaba una topología de bus compartida (el ancho de banda del bus es compartido a través de múltiples dispositivos) para establecer comunicación entre los diferentes dispositivos del bus. A medida que los dispositivos evolucionaron, nuevos dispositivos con una mayor demanda del ancho de banda comenzaron a desplazar a otros dispositivos en el mismo bus compartido. Las tarjetas

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

LAN en Gigabit, por ejemplo, pueden monopolizar hasta 95% del ancho de banda del bus disponible.



Figura 4.21. Tarjetas PCI Express (National Instruments 2013)

Para proporcionar el ancho de banda requerido por estos dispositivos modernos, fue desarrollado el PCI Express por un consorcio industrial de PC y vendedores periféricos que comenzaron a distribuirlo en computadoras de escritorio estándar en 2004. Para ese entonces, la mayoría de las máquinas de escritorio, de principales vendedores, incluían al menos una ranura PCI Express. El avance más notable de PCI Express sobre PCI es su tecnología punto a punto de la topología del bus. El bus compartido usado para PCI es reemplazado por un interruptor compartido, el cual proporciona a cada dispositivo un acceso directo al bus. Y a diferencia de PCI que divide el ancho de banda entre los dispositivos del bus, PCI Express proporciona a cada dispositivo con su propia línea de datos. Los datos son enviados en paquetes a través de pares de señales de transmisión y recepción llamadas líneas, que permiten 250 MB/s de ancho de banda por dirección, por línea. Líneas múltiples pueden agruparse en ancho de líneas x1 (“por uno”), x2, x4, x8, x12, x16, y x32 para incrementar el ancho de banda de la ranura.

- **USB.-** Los dispositivos de adquisición de datos NI USB (ver figura 4.22) de bajo costo ofrecen funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. Son accesibles para uso de estudiantes, pero lo suficientemente potentes para aplicaciones de medida más sofisticadas.



Figura 4.22. DAQ USB (National Instruments)

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los NI USB son dispositivos DAQ multifunción USB energizados por bus. Presentan una resolución de 16 bits, una velocidad de muestreo de hasta 400 kS/s, hasta dos salidas analógicas, disparo digital, hasta 32 líneas de E/S digital y dos contadores/temporizadores. También tienen aislamiento para obtener mejor precisión en las medidas y más seguridad. El tener USB energizado por bus implica que no se requiere fuente de potencia externa, aunque las hay disponibles para aplicaciones que necesitan salida de corriente más alta.

- **Wi-Fi.-** La adquisición de datos Wi-Fi (ver figura 4.23) es una expansión de la adquisición de datos basada en pc, a aplicaciones de medidas para las cuales el uso de cables no es conveniente o práctico. Las DAQ combinan IEEE 802.11 inalámbrica, conectividad directa de sensor y la flexibilidad de software LabVIEW para monitoreo remoto de señales eléctricas, físicas, mecánicas y acústicas, dentro de estas señales, se puede monitorear temperatura, presión, tensión, aceleración, etc.



Figura 4.23. DAQ Inalámbrica (National Instruments)

Estos dispositivos son compatibles con fuentes de alimentación de 9-30 VDC. El número de dispositivos de este tipo que se pueden utilizar simultáneamente es limitado por el ancho de banda de la red que se disponga. Se debe considerar la velocidad de adquisición de datos, tipo de medidas y el número de canales, así como la resolución del dispositivo. El ancho de banda teórico del 802.11g es 54MB/s. Para calcular la cantidad de datos que manda cada dispositivo se utiliza la ecuación siguiente.

$$(\# \text{ de canales}) \left(\frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} \right) \left(\frac{\text{resolución}}{\text{muestra}} \right) = \frac{\text{bit}}{\text{s}} \quad (21)$$

Además, los dispositivos Wi-Fi ofrecen aislamiento, el aislamiento separa eléctrico y físicamente a las señales del sensor, las cuales pueden exponerse al ruido y a transitorios de alto voltaje.

Para seguridad en la transmisión de datos, se utiliza el estándar de codificación avanzada (AES), que es el algoritmo de codificación preferido para asegurar la transmisión de datos en redes Wi-Fi. AES utiliza una cifra de 128 bits que es más difícil de descifrar que el algoritmo RC4, el AES integra claves temporales (TKIP) y la privacidad equivalente a cableado (WEP).

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Comparando las diversas DAQ disponibles en el mercado, podemos resaltar los siguientes puntos:

- PCI Express nos brinda una gran velocidad de muestreo, pero no cuenta con el acondicionamiento de señales completo, además requiere de un cableado extenso desde los sensores hasta la tarjeta.
 - USB y Ethernet nos proporcionan acondicionamiento de señales completo para las diversas medidas que necesitamos, alto número de canales analógicos de entrada, pero presentando el mismo problema que las PCI Express, se necesita un cableado desde los sensores hasta la tarjeta. Este punto es muy importante, ya que entre mayor distancia de cableado tenemos, se tienen pérdidas, lo que ocasiona tener lecturas incorrectas en la interfaz.
 - Wireless nos proporciona acondicionamiento de señales, buen número de canales de entrada y la posibilidad de mandar los datos recibidos a una distancia aproximada de 100 metros sin tener pérdidas, lo que nos proporciona una gran confiabilidad en las medidas obtenidas.
- Para el sistema de adquisición de datos, se propone utilizar 3 tarjetas, la NI 9208, la NI 9213 y la NI 9219 con las características siguientes.
- **NI 9208.-** La DAQ NI 9208 mide 16 canales con entrada de corriente a 500S/s, con una resolución de 24 bits, enviando datos a una pc principal, con la característica, de ser compatible con 3 tipos distintos de comunicación, que es USB, Ethernet y Wi-Fi, siendo esta última opción la seleccionada.



Figura 4.24. DAQ NI 9208 (National Instruments 2013)

Los 16 canales de entrada tienen un rango de medición de ± 21 mA con rechazo de ruido integrado de 50/60 Hz. Tiene una conexión estándar D-Sub de 37 pines para usarse con cables y bloques conectores o el juego de conector.

- Conectividad con USB, Ethernet y Wi-Fi

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- 16 entradas de corriente (± 21.5 mA)
- Modo de alta resolución con rechazo de 50/60 Hz
- Velocidad de muestreo 500S/s
- Pines Vsup para enrutado de potencia externa (2A/30 V máximo)

Con esta DAQ, se pretende adquirir los datos de todos los sensores de presión del ciclo, así como las lecturas de voltaje, corriente, velocidad angular y flujo que se tienen.

➤ **NI 9213.-** La DAQ NI 9213, es una tarjeta diseñada especialmente para la lectura de termopares. Mide 16 canales de termopares a 1200 S/s con resolución de 24 bits, enviado datos a pc vía USB, Ethernet o Wi-Fi. Cuenta con conectividad para terminal de resorte, conector para cableado y liberación de tensión, y mediante el software LabVIEW, es posible configurar cada canal de la tarjeta para medir la temperatura con cualquier tipo de termopar.

- Conectividad con USB, Ethernet o Wi-Fi
- Compensación de unión fría (CJC) integrada.
- Modo de alta velocidad 1200S/s
- Aislamiento de seguridad de canal a tierra de 250 Vrms
- ADC de 24 bits por hasta $.02^{\circ}\text{C}$ de sensibilidad medida.



Figura 4.25. DAQ NI 9213 (National Instruments 2013)

➤ **NI 9219.-** La DAQ ni 9219 es un dispositivo de 4 canales de entrada de tipo universal, es capaz de realizar mediciones de temperatura, resistencia, voltaje, corriente, cuarto de puente, medio y puente completo. Cuenta con el módulo NI 9163, tiene una velocidad de muestre de 100 S/s.

- 4 canales de entrada analógica tipo universal
- Acondicionamiento para termopares, compensación de junta fría (CJC).
- Cuenta con la configuración de puente de Wheatstone cuarto, medio y puente completo
- Velocidad de muestreo 100 S/s

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- 24 bits de resolución
- Conexión Wi-Fi y Ethernet.



Figura 4.26. NI 9219 (National Instruments 2013)

Seleccionados todos los sensores y las tarjetas de adquisición de datos mostradas en la tabla 4.6, el siguiente paso es el desarrollo de la interfaz.

Tabla 4.6. Lista de sensores y tarjetas de adquisición de datos.

Etiqueta	Descripción	Señal
T1	Termopar tipo J ubicado en la salida de la turbina Coppus	.05 mV/°C
T2	Termopar tipo J ubicado a la entrada de la turbina Coppus	.05 mV/°C
T3	Termopar tipo J ubicado en la línea de alimentación de la turbina Coppus	.05 mV/°C
T4	Termopar tipo J ubicado en el intercambiador de calor, en la salida de agua de enfriamiento	.05 mV/°C
T5	Termopar tipo J ubicado en el intercambiador de calor, en la salida de vapor	.05 mV/°C
T6	Termopar tipo J ubicado en el intercambiador de calor, en la entrada de vapor	.05 mV/°C
T7	Termopar tipo J ubicado en el intercambiador de calor, en la entrada de agua de enfriamiento	.05 mV/°C
T8	Termopar tipo J ubicado en el tanque de condensados	.05 mV/°C
T9	Termopar tipo J ubicado en la trampa de vapor	.05 mV/°C
M1	Sensor de presión Satra 522 de -1 a 4 bar, ubicado en la salida de la turbina Coppus	4-20 mA
M2	Sensor de presión Satra 522 de 0-16 bar, ubicado en la entrada de la turbina Coppus	4-20 mA
M3	Sensor de presión Satra 522 de 0-16 bar, ubicado en la línea de alimentación de la turbina	4-20 mA
M4	Sensor de presión Satra de -1 a 1 bar, ubicado en el intercambiador de calor.	4-20 mA
M5	Sensor de presión Satra 522 de 0-25 bar, ubicado en la caldera Clayton	4-20 mA
M6	Sensor de presión Satra 522 de 0-25 bar, ubicado en la trampa de vapor	4-20 mA
M7	Sensor de presión Satra 522 de 0-40 bar, mide la presión de alimentación de diésel	4-20 mA

4.3.- SELECCIÓN DE SENSORES Y TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

M8	Sensor de presión Satra 522 de 0-40 bar, mide la presión de alimentación de la caldera Clayton	4-20 mA
M9	Sensor de presión Satra 522 de 0-10 bar, mide la presión del tanque de tratamiento suavizador.	4-20 mA
M10	Sensor de presión Satra 522 de 0 a 16 bar, colocado antes del codo de tubería	4-20 mA
M11	Sensor de presión Satra 522 de 0-16 bar, colocado después del codo de tubería	4-20 mA
Voltímetro	Sensor de voltaje MCR-VDC-UI-B-DC de 0-250 VDC	4-20 mA
Amperímetro	Sensor de corriente Hawkeye 970 Series de 0-40 ADC	4-20 mA
RPM	Sensor de velocidad angular ST 420	4-20 mA
Celda de carga	Celda de carga utilizada para calcular el torque de la turbina Coppus	3mV/V
NI 9208	DAQ diseñada para leer señales de 0 a 20 mA	16 canales
NI 9213	DAQ diseñada para leer termopares tipo J	16 canales
NI 9219	DAQ diseñada con canales de entrada universal	4 canales

4.4 DESARROLLO DE INTERFAZ

Para monitorear el ciclo Rankine en tiempo real, es necesario procesar todas las señales que recolecta la tarjeta de adquisición de datos. Para poder observarlas y guardar los datos necesarios para las prácticas de laboratorio, se diseñó una interfaz con software de National Instruments, LabVIEW.

Mediante este programa, es posible observar la lectura de todos los sensores en tiempo real. Para tener un mayor beneficio, la interfaz diseñada puede entrar en 4 casos distintos, todos pueden ser llamados desde una pantalla principal (Figura 4.40). Así, tenemos la posibilidad de realizar 4 prácticas diferentes que son:

- Generador de vapor (Figura 4.27)
- Turbina Coppus (Figura 4.28)
- Intercambiador de calor (Figura 4.29)
- Ciclo Rankine (Figura 4.30)

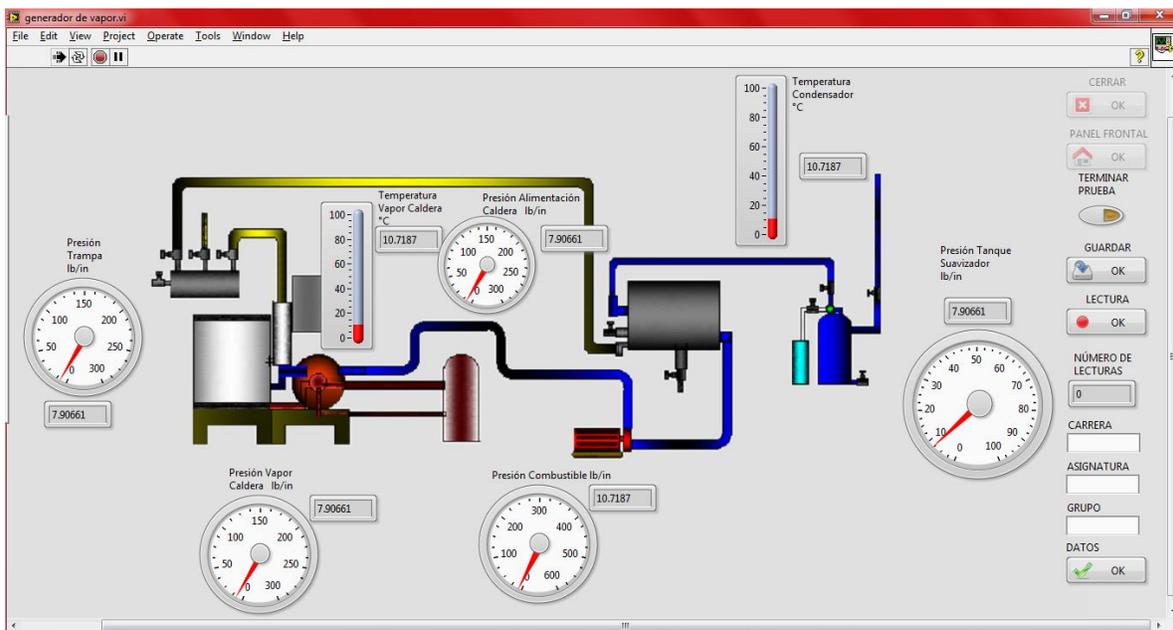


Figura 4.27. Generador de vapor

La figura 4.27 muestra la pantalla de la interfaz correspondiente para realizar la práctica del generador de vapor, nos muestra las lecturas de presión y temperatura en los distintos puntos de interés para la práctica.

4.4.- DESARROLLO DE INTERFAZ

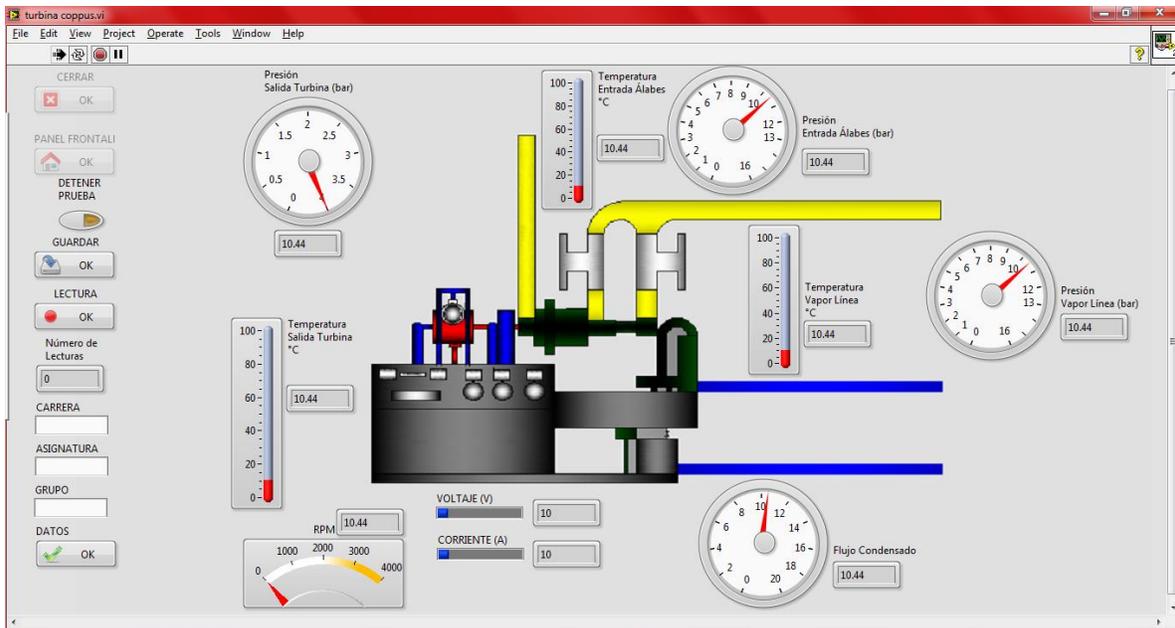


Figura 4.28. Turbina Coppus

La figura 4.28 muestra la pantalla de la interfaz correspondiente a la práctica de la turbina Coppus con la lectura de sus respectivos sensores.

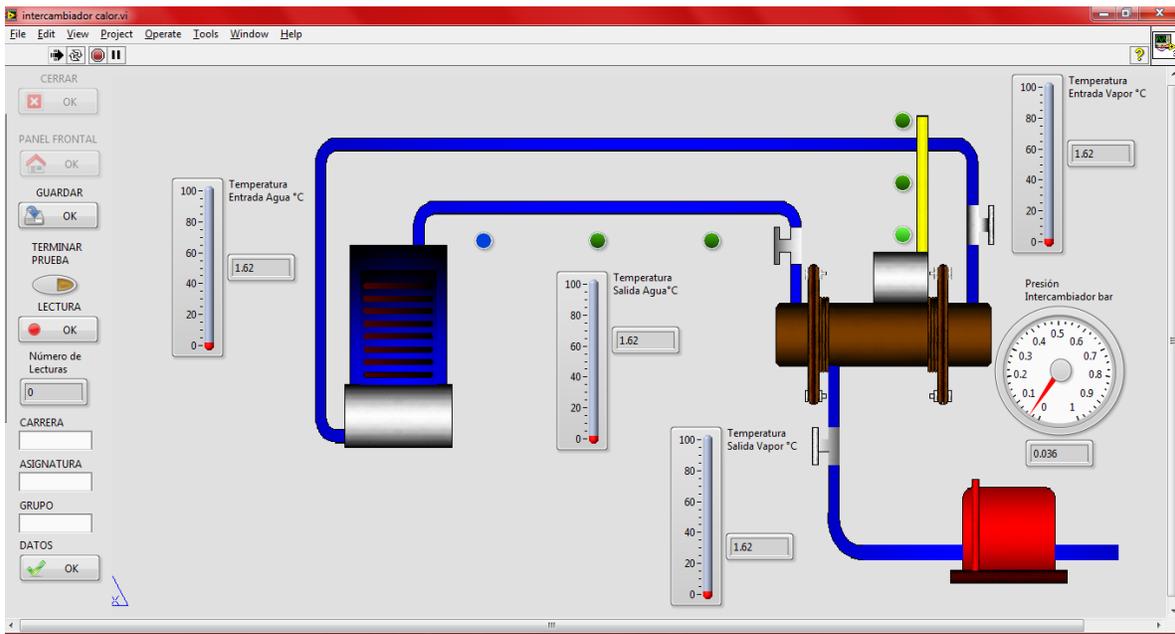


Figura 4.29. Intercambiador de calor

La figura 4.29 es la correspondiente a la práctica del intercambiador de calor, en ella se muestran las lecturas de temperatura de los fluidos de trabajo y la lectura de presión dentro del intercambiador de calor.

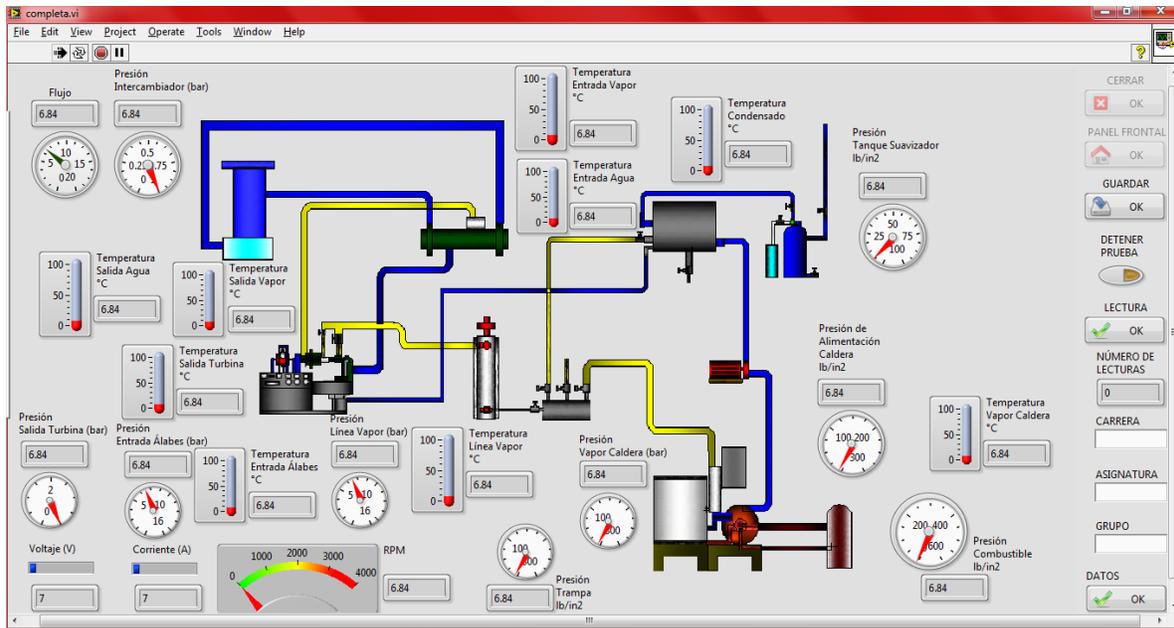


Figura 4.30. Ciclo Rankine.

La figura 4.30 muestra la interfaz para monitorear el ciclo Rankine.

Funcionamiento de la interfaz

- Mediante la interfaz diseñada, se accede a una de las 4 prácticas posibles, cada una contiene los siguientes botones.
 - **Cerrar.-** Al hacer un clic en dicho botón, el programa se cierra totalmente.
 - **Panel Frontal.-** Este botón nos manda a la página de inicio para la selección de prácticas.
 - **Detener prueba.-** Al hacer clic en este botón, se desactiva la tarjeta de adquisición de datos, y se habilitan los botones de cerrar y panel frontal, que en inicio permanecen inhabilitados para evitar que al realizar las prácticas sean accionados y perder los datos de las mismas.
 - **Lectura.-** Este botón mediante un clic almacena las lecturas de todos los sensores en ese instante, cuenta con un contador para conocer el número de lecturas tomadas.
 - Para complementar la información de las prácticas, se tiene los campos de carrera, asignatura y grupo, donde una vez que se introducen los datos, al presionar el botón “**DATOS**”, estos son almacenados y posteriormente utilizados.
- Los datos almacenados durante el desarrollo de la práctica, son guardados en formato Excel por medio del botón “**GUARDAR**”. Al hacer un clic, los datos son guardados en la memoria de la pc y enviados mediante correo electrónico a un correo definido, esto con el fin de tener una bitácora de las prácticas de laboratorio realizadas, teniendo fecha y hora de realización, para mantener un control y mejorar la calidad de las prácticas impartidas.

La programación de la interfaz es el siguiente:

1.- Para la adquisición de datos, es necesario utilizar el **DAQ assistant** (figura 4.31), este asistente, nos permite configurar los canales que se van a utilizar, así como el tipo de lectura que va a procesar la tarjeta.

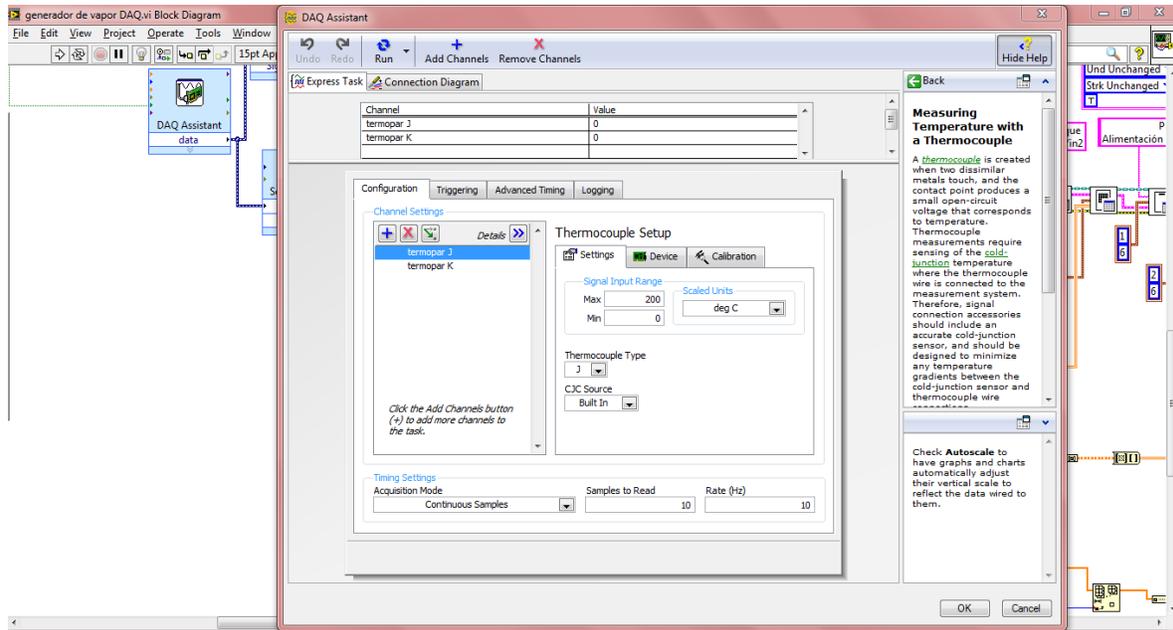


Figura 4.31. DAQ Assistant.

2.- Una vez que configuramos los canales, en el diagrama nos aparece la herramienta de DAQ assistant, esta nos procesa las señales, a su salida se utiliza una herramienta llamada “**Select Signals**” (ver figura 4.32), esta nos permite separar las señales de cada sensor, y mandarlas al procesamiento correspondiente.

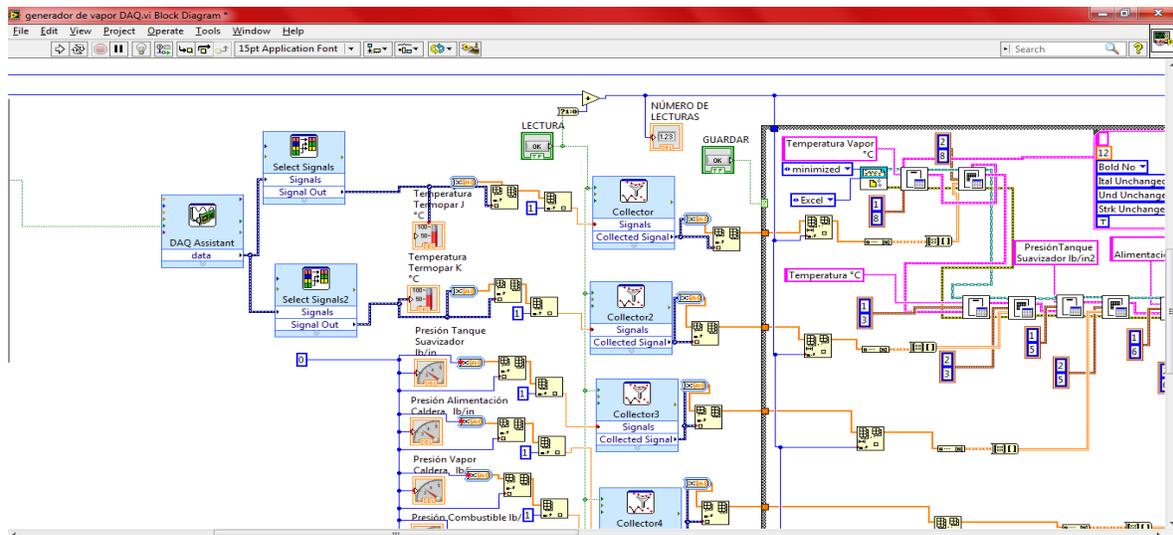


Figura 4.32. Selector de señales e indicadores.

3.- Los instrumentos que se muestran en las pantallas principales, crean iconos en la parte de programación, estos, son conectados a las señales separadas y procesadas para la visualización en la pantalla principal.

Un posible problema de procesar gran cantidad de datos es saturar el buffer de la pc, para evitar esto, los datos provenientes del colector son enviados a un **“array”**, esta estructura realiza un arreglo, y posteriormente con la herramienta **“index array”**, se selecciona solo un dato de todos los que se están procesando. Al realizar esto, el resto de los datos es liberado, liberando así espacio del buffer.

El almacenamiento de los datos, se realiza con la herramienta llamada **“Collector”**, esta herramienta al ser activada por el botón **“lectura”**, solo deja pasar el último dato registrado, que es enviado a un **“array”**.

Todos los datos se insertan en un **“array”**, y hasta que se termina la práctica y se presiona el botón **“guardar”**, se activa la estructura **“case”**. Dentro de la estructura **“case”**, se encuentra la programación para generar el reporte en formato Excel (ver figura 4.33), guardar dicho reporte y enviarlo vía e-mail.

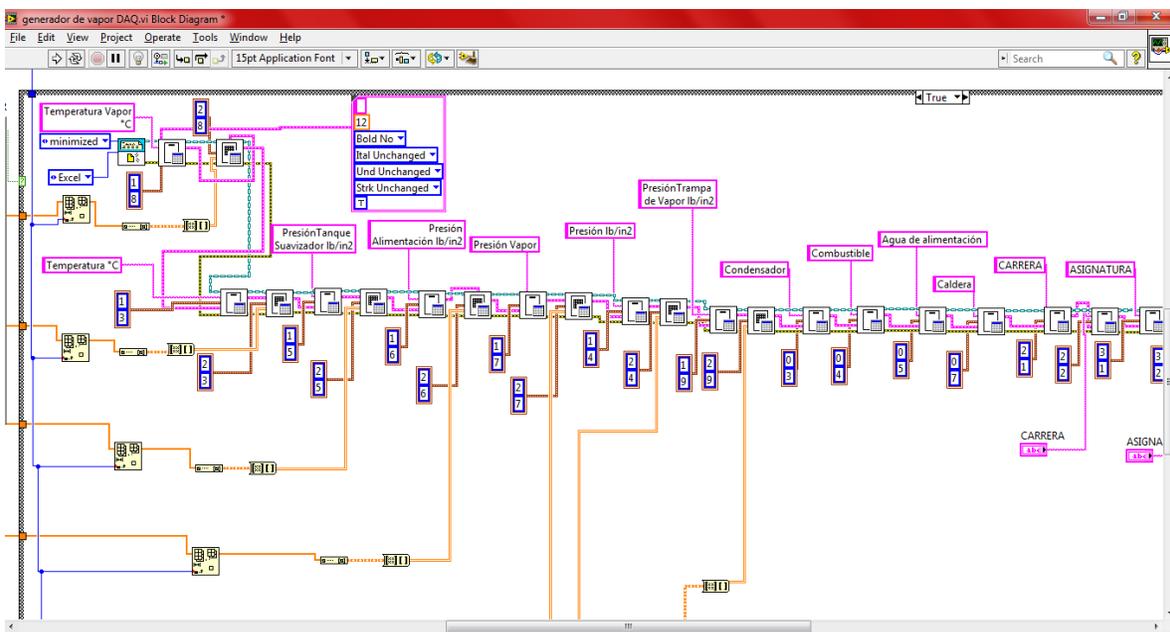


Figura 4.33. Programación para generar reporte en Excel

LabVIEW cuenta con herramientas para la generación de un reporte en Excel, para crear un archivo en este formato, se utiliza la herramienta **“New Report”**, en ella se especifica el tipo de archivo a crear. Para insertar los datos en el reporte, cuando se trata únicamente de texto se utiliza **“Easy title”**, en esta herramienta, se escribe el texto deseado, y se especifica la celda donde se colocara dicho texto, desde este punto, se selecciona la fuente y el tamaño de letra, mismo que se aplicara a todo el documento (ver figura 4.34).

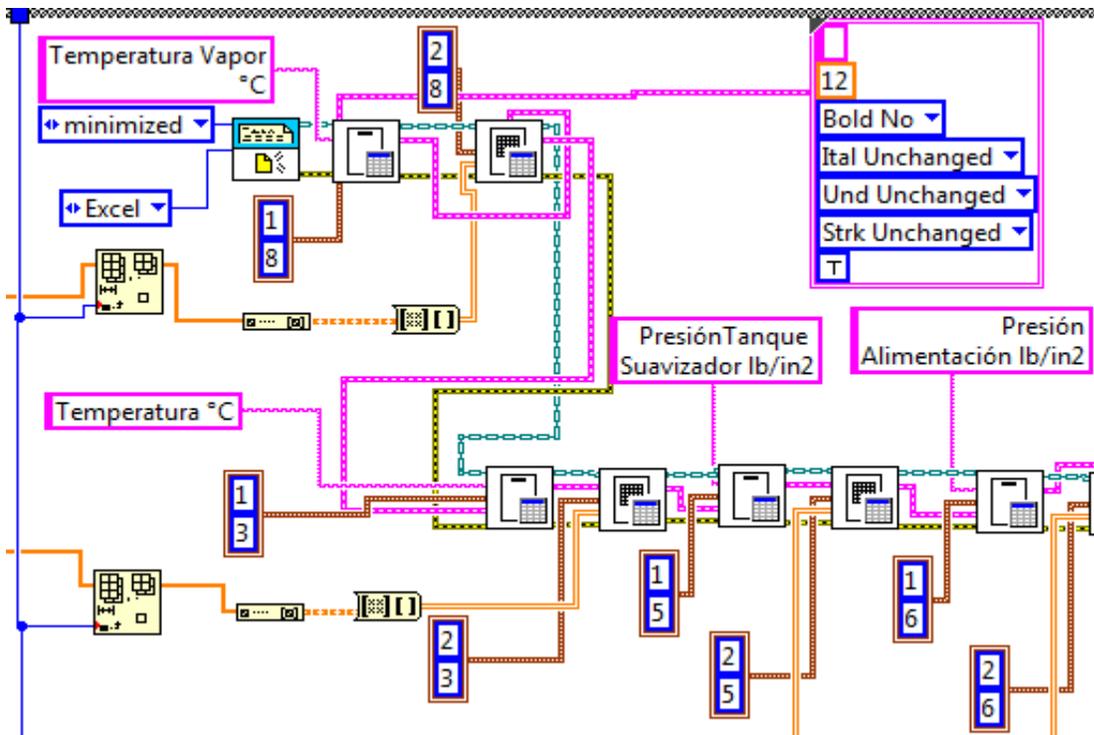


Figura 4.34. Creación de reporte y definición de tipo de letra.

Los datos que estaban en el **“array”** antes activar el **case**, no pueden ser enviados directamente a las herramientas de creación de reporte de Excel, para poder almacenar los datos, primero es necesario pasarlos a una forma de matriz con **“build matrix”**, ahora estos datos son convertidos de forma de matriz a un arreglo 2-D con la herramienta **“matrix to array 2D”**. Realizado este proceso, se insertan los datos y se especifican las celdas donde se visualizaran.

Los datos de carrera, asignatura y grupo, son insertados mediante estructuras **“string”** al archivo Excel, al igual que los datos anteriores, se debe especificar la celda correspondiente.

5.- La programación correspondiente para guardar el archivo, utiliza la herramienta **“save report to file”**, donde debe ser especificado el nombre del archivo, para evitar que todos los archivos generados tengan el mismo nombre y se sobre escriban, mediante una cadena de **“string”**, y una carpeta seleccionada, se genera el nombre del archivo, tomando los dígitos de la hora, minutos y segundos, para evitar que se repita el nombre de algún archivo (ver figura 4.35).

Para cerrar el proceso, se utiliza la herramienta **“dispose report”**, donde especificamos que el reporte generado debe cerrarse, esto con el objetivo de poder enviarlo por e-mail.

4.4.- DESARROLLO DE INTERFAZ

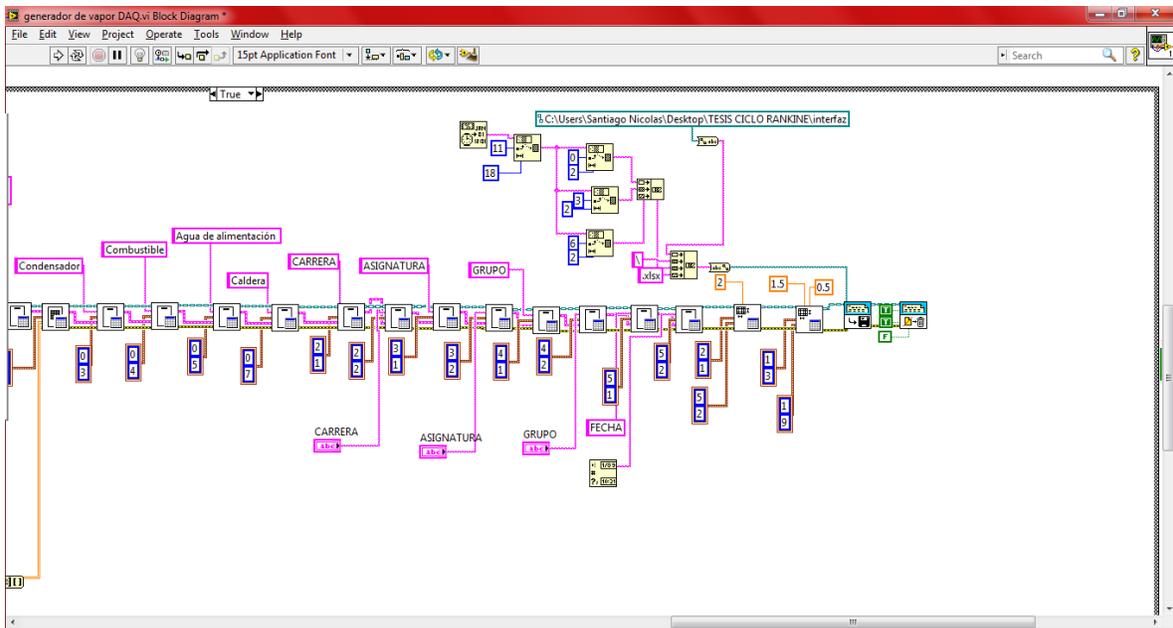


Figura 4.35. Generación de nombre de archivo.

Mediante la estructura “**sequence**”, al terminar el proceso del archivo, la segunda etapa es enviar el correo, para esto debe ser especificado el servidor, el puerto que utiliza, una dirección de correo que enviará el archivo, su respectiva contraseña, el destinatario, algún texto deseado y el archivo que se desea adjuntar (ver figura 4.36).

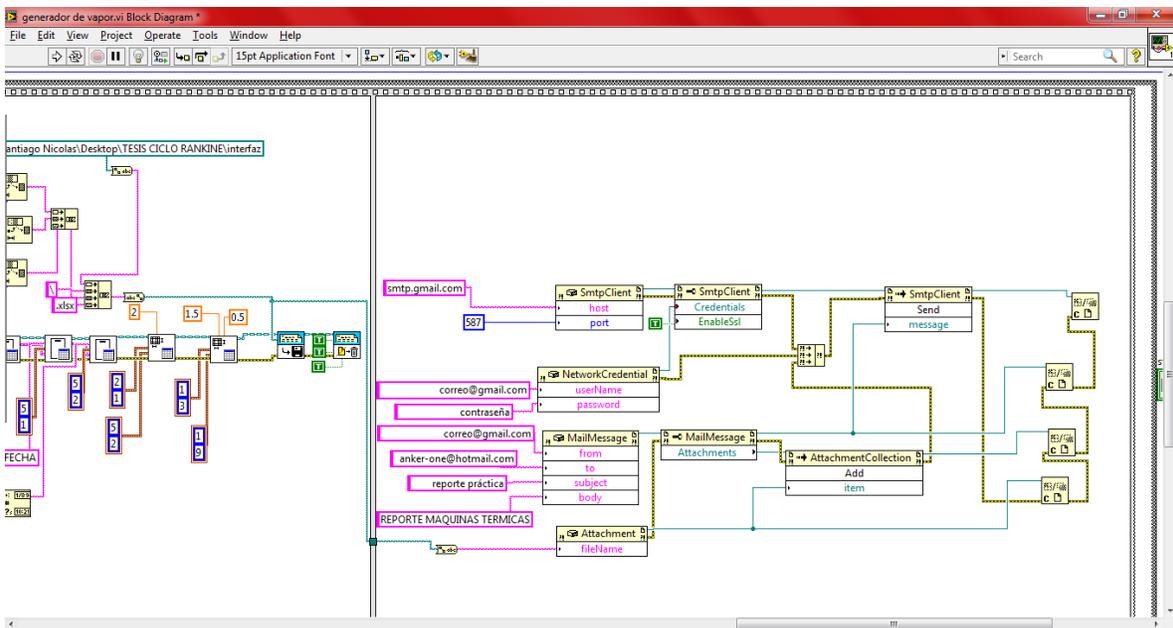


Figura 4.36. Programación de e-mail.

6.- En la programación referente al cambio de pantalla, o en su caso, cerrar el programa, primero se utiliza una estructura “**case**”, esta dependerá del estado del botón terminar prueba, cuando su valor sea falso, la única acción a realizar es inhabilitar los botones “**CERRAR**” y “**PANEL FRONTAL**”, y para el botón “**GUARDAR**”, mantenerlo habilitado.

4.4.- DESARROLLO DE INTERFAZ

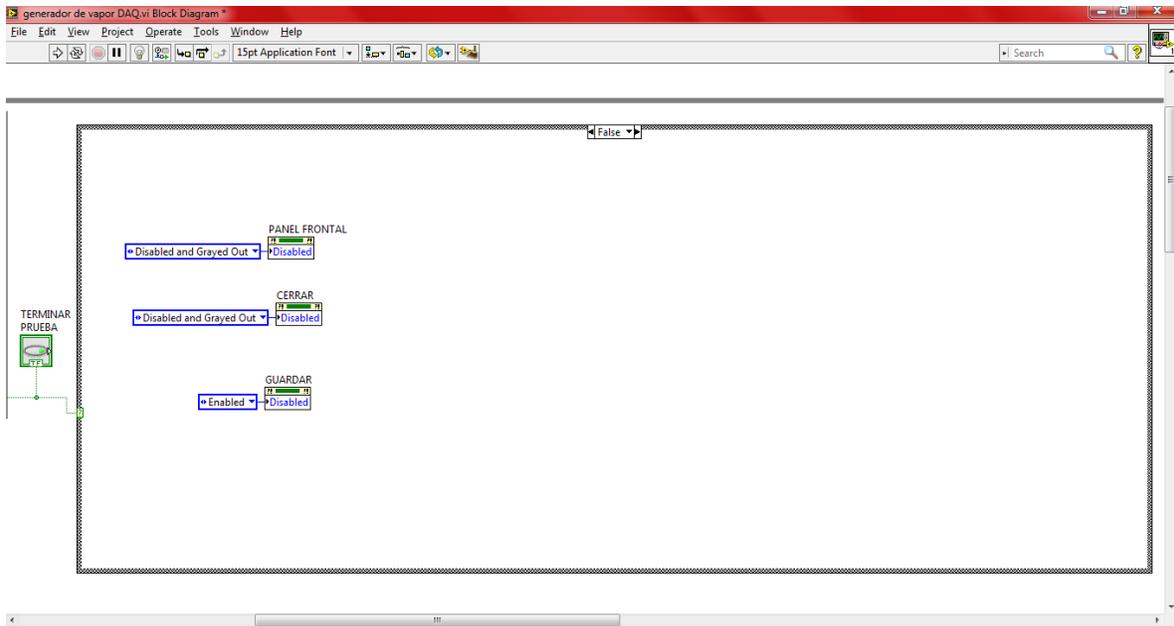


Figura 4.37. Estado falso estructura “case”.

Para el caso “**verdadero**”, dentro de la estructura “**case**”, se tiene la estructura “**event**”, para activar dicha estructura, solo es necesario que cambie el valor del botón “**CERRAR**”; o en su caso “**PANEL FRONTAL**”, en el primer caso se realiza el proceso para cerrar el programa mediante herramientas “**property node**”, donde especificamos que el programa debe cerrarse (ver figura 4.38).

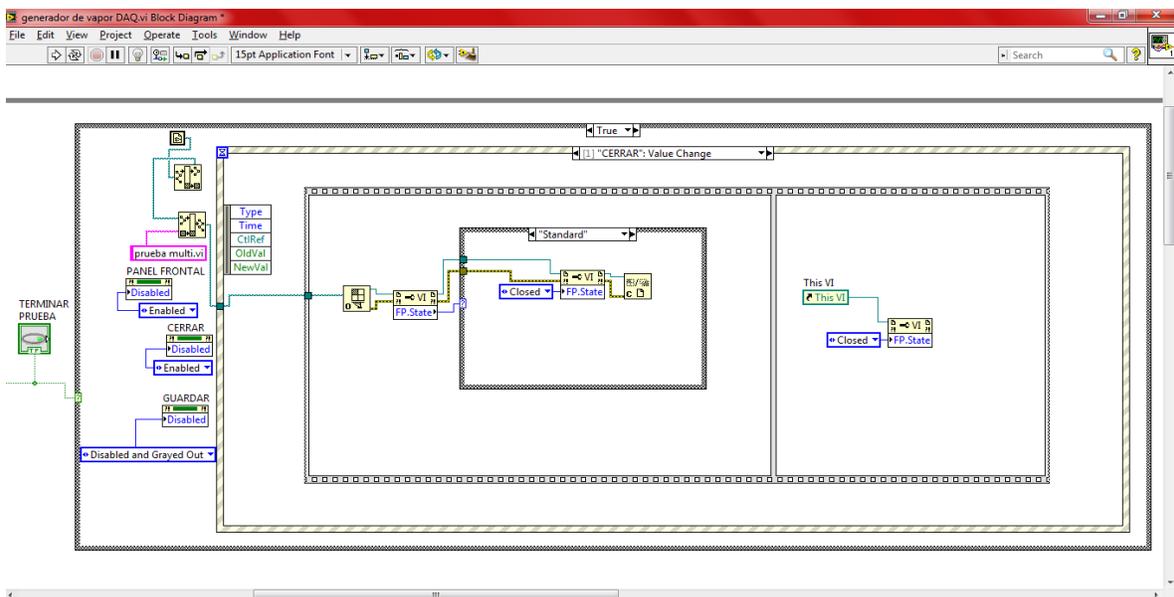


Figura 4.38. Estructura event, caso “CERRAR”.

Para el caso del panel frontal, se utilizan “**invoke node**”, “**property node**”, y la estructura “**sequence**”. Los property node son utilizados para especificar el estado de la pantalla que deseamos abrir, también es definida la ubicación del archivo que ejecuta dicha ventana. Las herramientas de “**invoke node**” nos permiten abrir la ventana

especificada, y la estructura “**secuence**” en el segundo paso nos permite cerrar la ventana actual (ver figura 4.39).

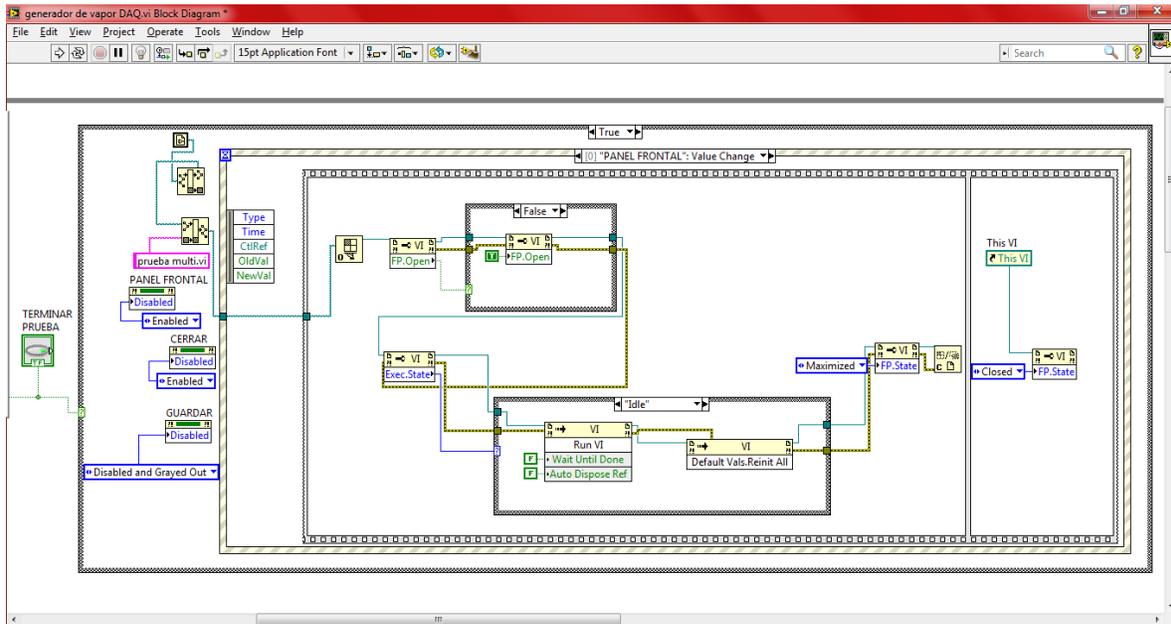


Figura 4.39. Estructura “event”, caso “PANEL FRONTAL”.

- La programación mostrada es la misma para cualquiera de las 4 prácticas que se desee realizar, y para la pantalla inicial se utiliza la programación para el cambio de pantalla, indicando la dirección de cada uno de los archivos correspondiente.

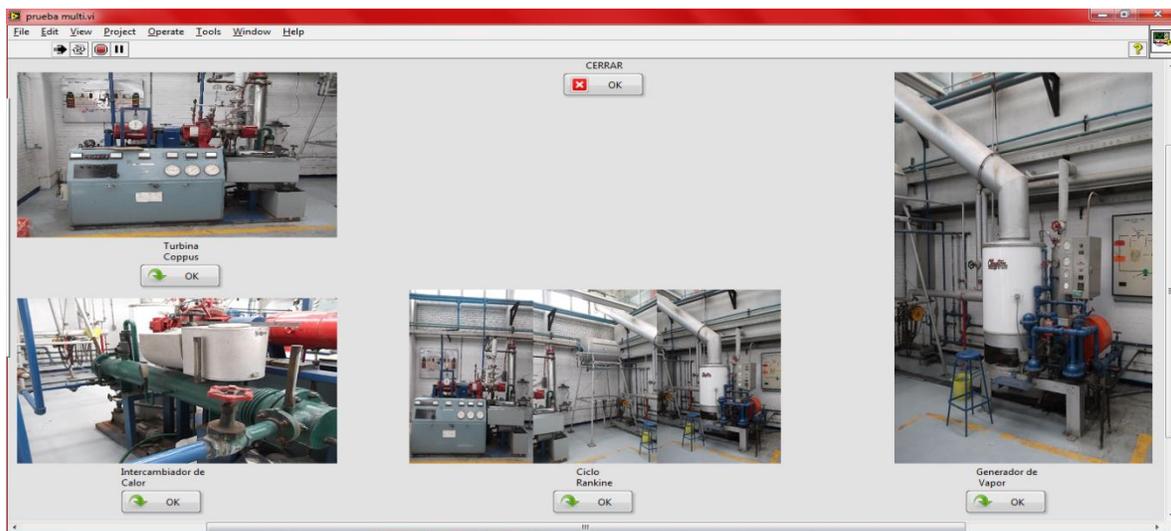


Figura 4.40. Pantalla Inicial.

4.5 Procedimiento de Instalación.

1.- Debemos considerar la distribución de los sensores en cada una de las tarjetas de adquisición de datos. Para termopares, la tarjeta correspondiente es la NI 9213, y para sensores de presión, voltaje, corriente, caudal y velocidad angular la tarjeta

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

correspondiente es la NI 9208, y la lectura de la celda de carga con la DAQ NI 9219. La siguiente tabla nos muestra la distribución y el canal correspondiente para cada sensor.

Tabla 4.7. Distribución de sensores

Etiqueta	DAQ	Canal
T1	NI 9213	0
T2	NI 9213	1
T3	NI 9213	2
T4	NI 9213	3
T5	NI 9213	4
T6	NI 9213	5
T7	NI 9213	6
T8	NI 9213	7
T9	NI 9213	8
M1	NI 9208	0
M2	NI 9208	1
M3	NI 9208	2
M4	NI 9208	3
M5	NI 9208	4
M6	NI 9208	5
M7	NI 9208	6
M8	NI 9208	7
M9	NI 9208	8
M10	NI 9208	9
M11	NI 9208	10
Amperímetro	NI 9208	11
Velocidad A.	NI 9208	12
Voltímetro	NI 9208	13
Celda de carga	NI 9219	0

Es muy importante especificar el canal asignado para cada sensor, ya que dentro de la interfaz de LabVIEW, los sensores deben ser dados de alta con ayuda del DAQ Assistant, y en todas las prácticas posibles, es necesario que el sensor y el canal que se dio de alta sea correcto, de lo contrario, se tomaran medidas incorrectas.

2.- Ya que se tienen asignados los canales, se debe realizar la conexión para cada uno de los sensores. Para el caso de los termopares tipo J, la norma nos dice que la punta positiva es de color rojo, y el negativo color blanco.

Los pines de entrada de la tarjeta NI 9213 están numerados del 1 al 36, y los asignados para cada canal que necesitamos, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.8. Configuración canales de entrada.

Termopar	Pin positivo	Pin negativo
T1	2	20
T2	3	21
T3	4	22
T4	5	23

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

T5	6	24
T6	7	25
T7	8	26
T8	9	27
T9	10	28

La tarjeta NI 9213 tiene la apariencia de la figura 4.41, y el diagrama de conexiones se muestra en 4.42

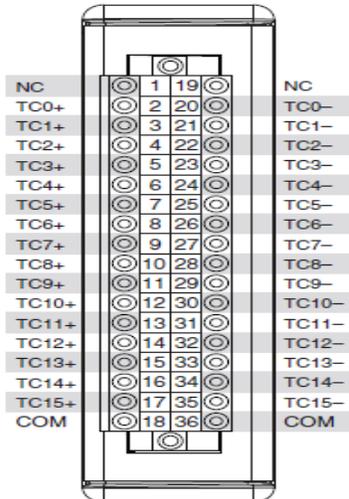


Figura 4.41. Canales de entrada
NI 9213 (National Instruments 2013)

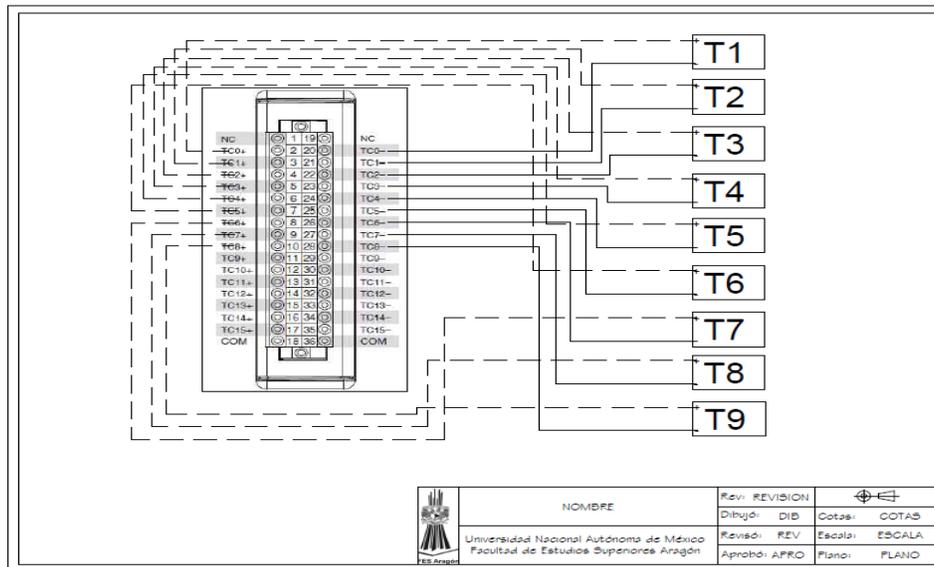


Figura 4.42. Conexiones a NI 9213

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

Para la conexión del resto de los sensores en la DAQ NI 9208, es necesario indicar que todos estos sensores requieren de una fuente de alimentación externa, que debe proporcionar 24 VDC, y no debe sobrepasar los 2 A, que es el límite de la DAQ NI 9208.

Para una mejor explicación, es necesario observar la figura 4.43. La fuente de alimentación, debe ser conectada en la tarjeta, el polo positivo se debe conectar en el pin 19, y el polo negativo en el pin 9.

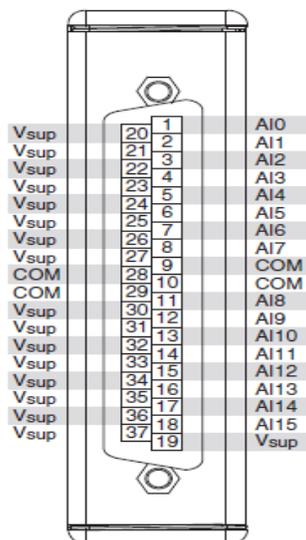


Figura 4.43. Pines de entrada
NI 9208 (National Instruments 2013)

Con esta configuración, todos los pines con la leyenda Vsup funcionarían como alimentación con polo positivo, y en caso de ser necesaria la referencia negativa, se utilizarían los pines 10, 28 y 29.

Los sensores de presión modelo Satra 522, vienen con 2 cables, el positivo y negativo, serán identificados con datos proporcionados por el distribuidor. Para su conexión, la punta positiva puede ir en cualquier pin con la leyenda Vsup, más adelante se muestra la configuración recomendada, y el polo negativo, debe ser conectado en los pines de entrada con la leyenda AI0 al AI10. Cada uno de estos, corresponde a un número de canal, la configuración correcta se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.9. Conexiones sensores de presión.

Etiqueta	Pin positivo	Pin negativo
M1	20	1
M2	21	2
M3	22	3
M4	23	4
M5	24	5
M6	25	6
M7	26	7
M8	27	8
M9	30	11

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

M10	31	12
M11	32	13

El sensor de corriente, está asignado en el canal de entrada 11. La imagen 4.44 nos muestra la configuración de este dispositivo.

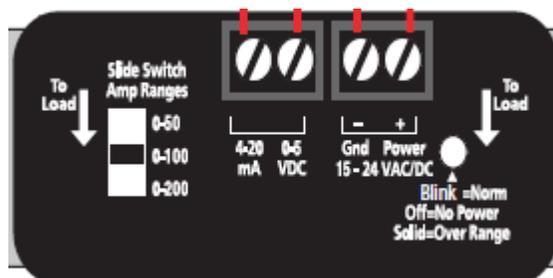


Figura 4.44. Configuración sensor de corriente.

Basados en la figura 4.44, el sensor debe ser colocado en un rango de medición de 0-50 A, la terminal positiva debe ser conectada en el pin 33, la terminal negativa en el pin 28, y la señal de 4-20 mA en el pin 14.

Para el sensor de velocidad angular, la terminal positiva debe conectarse en el pin 34, y el polo negativo en el pin 15.

El sensor de voltaje, con la configuración mostrada en la imagen 4.45, es conectado en el generador del ciclo Rankine, puede alcanzar rangos aproximados a los 250 V, por lo que la configuración necesaria será la de 250 V.

En la figura 4.46, podemos observar las terminales correspondientes para medir voltaje, y las correspondientes con la señal de salida. La alimentación va de la fuente, el polo positivo al terminal 13 del sensor, y el polo negativo al terminal 15 del mismo. La señal para procesar, es obtenida de los terminales 9 y 11 (positivo y negativo respectivamente).

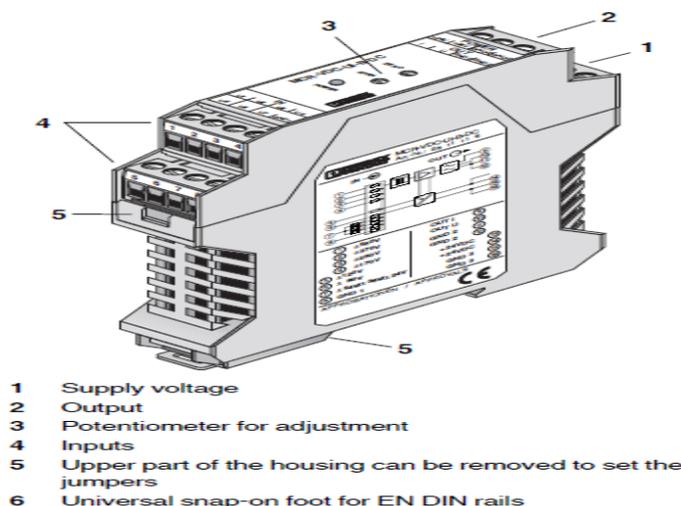


Figura 4.45. Configuración sensor de voltaje. (Phoenix Contact 2013)

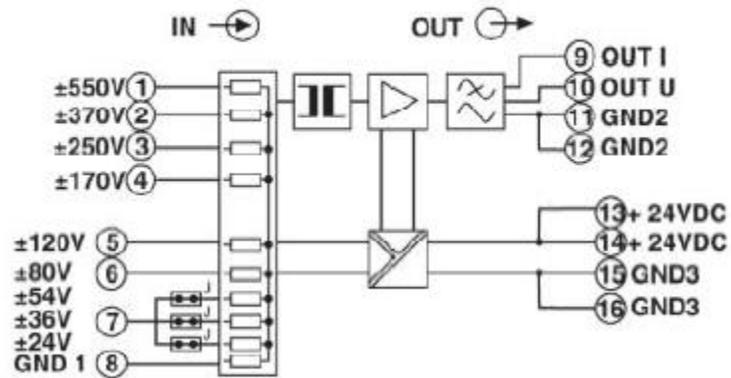


Figura 4.46. Circuito sensor de voltaje. (Phoenix Contact 2013)

La terminal 9 del sensor, es conectada al pin 35 de la tarjeta, y la terminal 11 al pin 16 de la misma. Este sensor genera una señal de 20 mA, misma que debe ser calibrada, para ello se debe ajustar la señal de salida a cero, se mide la señal de salida y se ajusta con el tornillo ZERO.

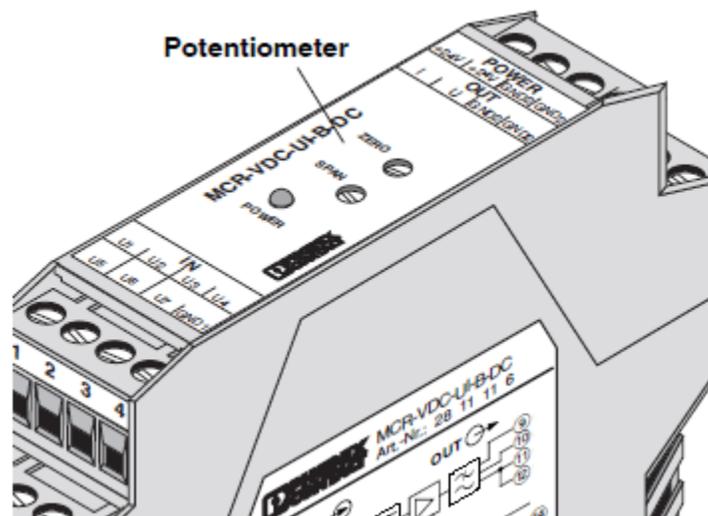


Figura 4.47. Tornillo de ajuste. (Phoenix Contact 2013)

La celda de carga debe ser conectada en la DAQ NI 9219 en el canal 0. La celda cuenta con 4 cables, que son rojo (excitación +), negro (excitación -), verde (señal +) y blanco (señal -). Los pines asignados del canal 0 son 3, 5, 4 y 6 respectivamente.

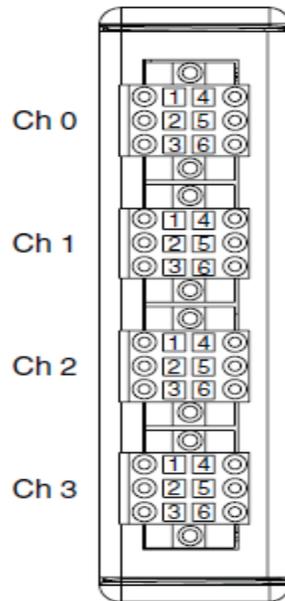


Figura 4.48. Entradas NI 9219
(National Instruments 2013)

Con la conexión correcta de los sensores, se procede a activar las tarjetas de adquisición de datos y dar de alta los sensores en su canal correspondiente.

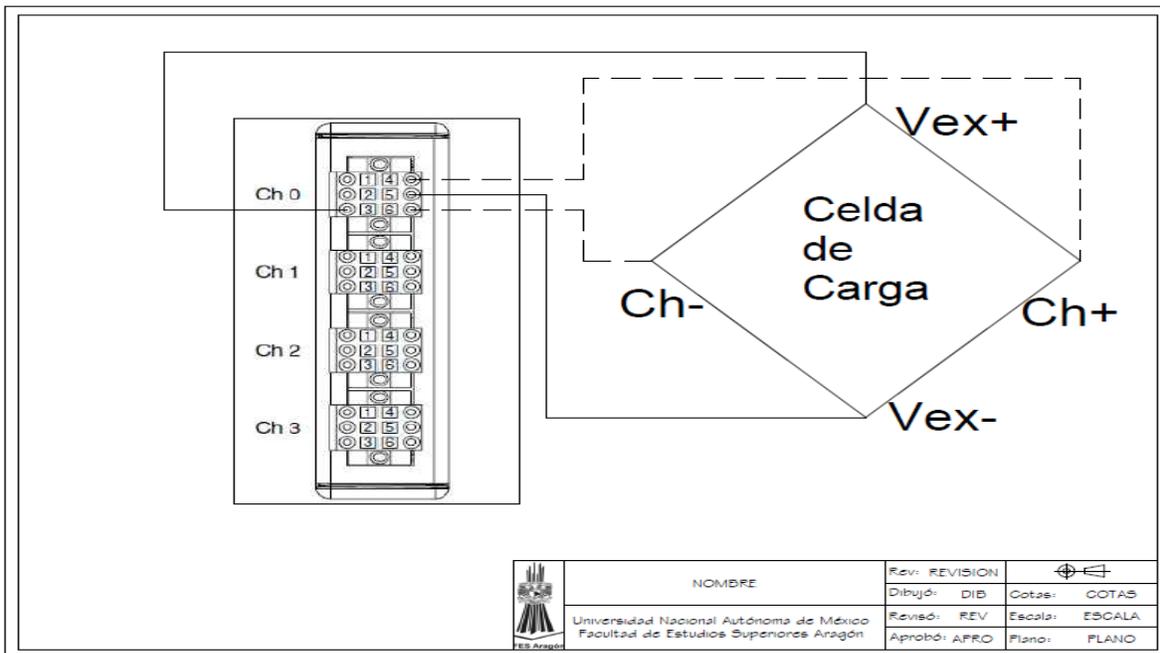


Figura 4.49. Conexión celda de carga

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

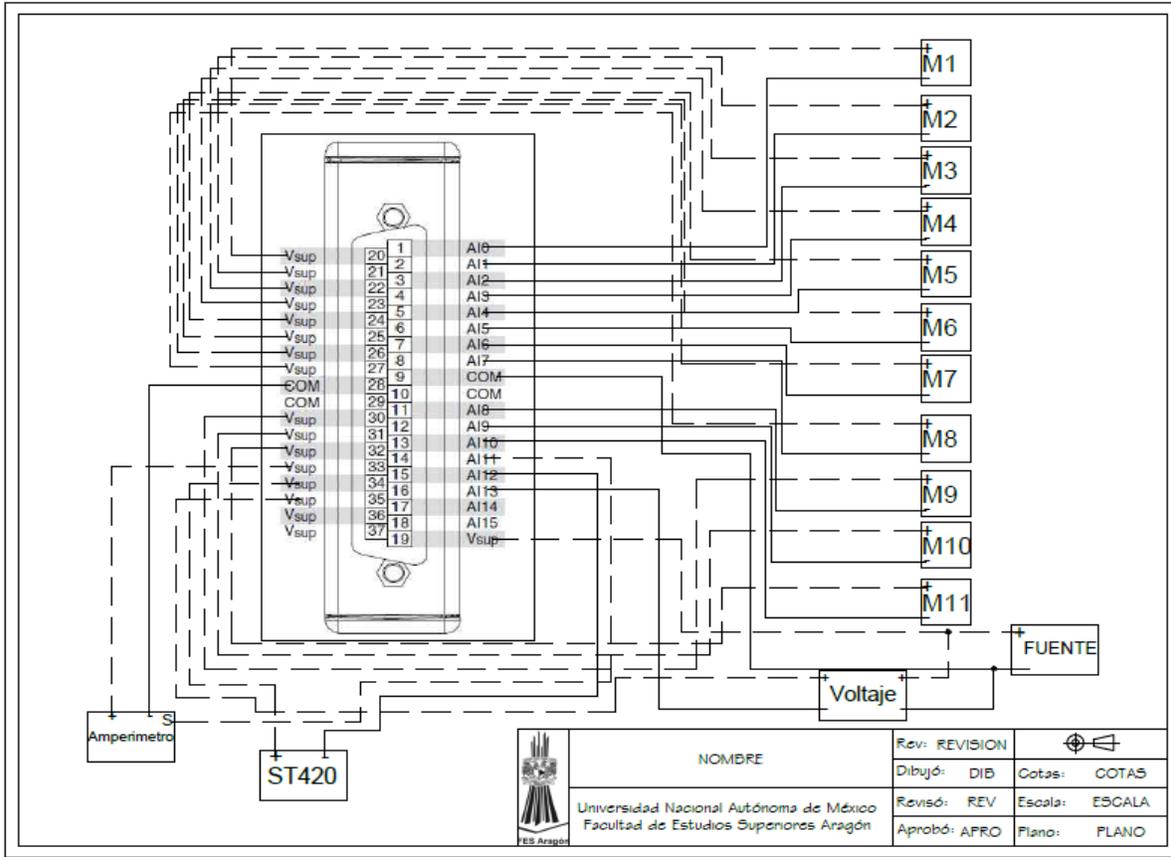


Figura 4.50. Conexiones DAQ NI 9208

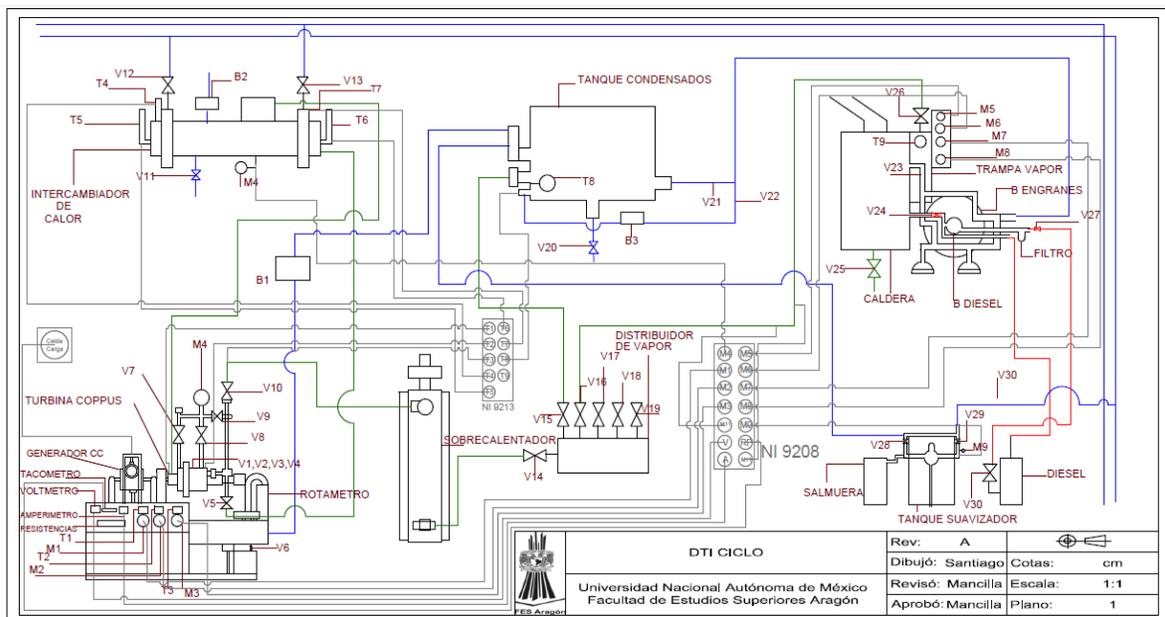


Figura 4.51. DTI final

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

3.- Para dar de alta las tarjetas de adquisición de datos, se utiliza el MAX (measurement and automation explorer). Para este proceso, es necesario conectar las tarjetas con un cable Ethernet, aparece un asistente y se selecciona la tarjeta que se desea instalar (ver figura 4.52).

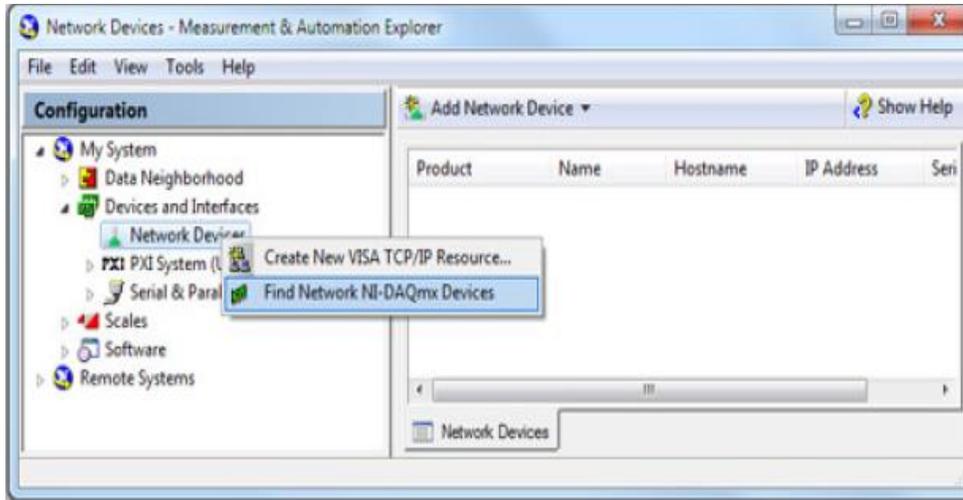


Figura 4.52. Detectar DAQs

La siguiente pantalla mostrara los dispositivos conectados, el tipo de conexión, y sus respectivas direcciones IP, se selecciona el dispositivo a instalar y se da clic en agregar (ver figura 4.53).

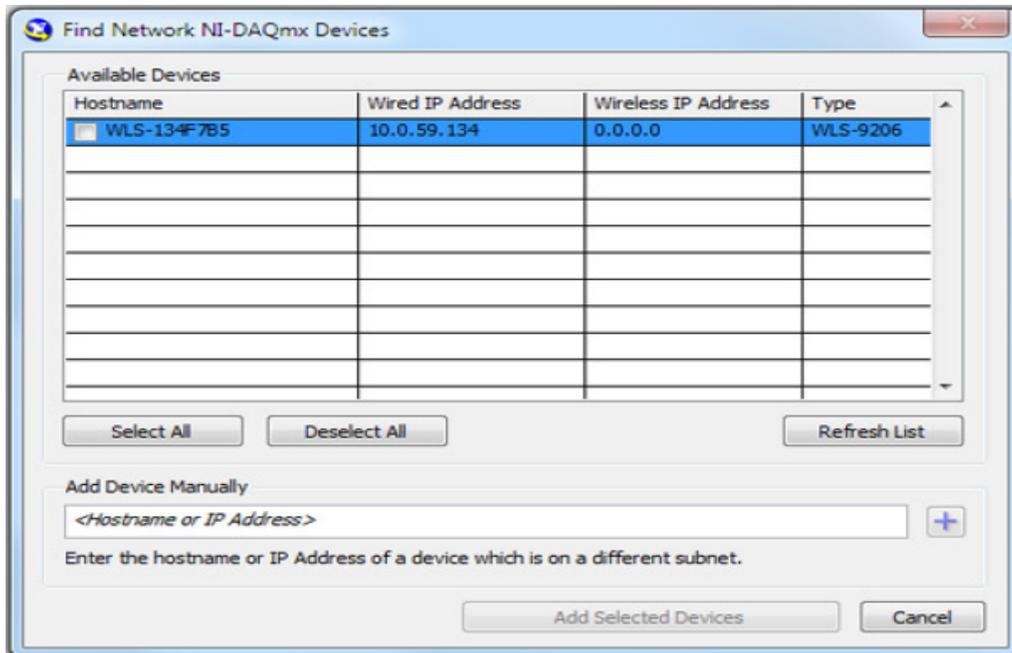


Figura 4.53. Agregar dispositivos

Una vez que se reconoce la tarjeta, es posible activar la configuración Wi-Fi, donde se debe especificar la red que se utilizará y la contraseña. Una vez que se configura, ya no es necesaria la conexión vía Ethernet (ver figura 4.54).

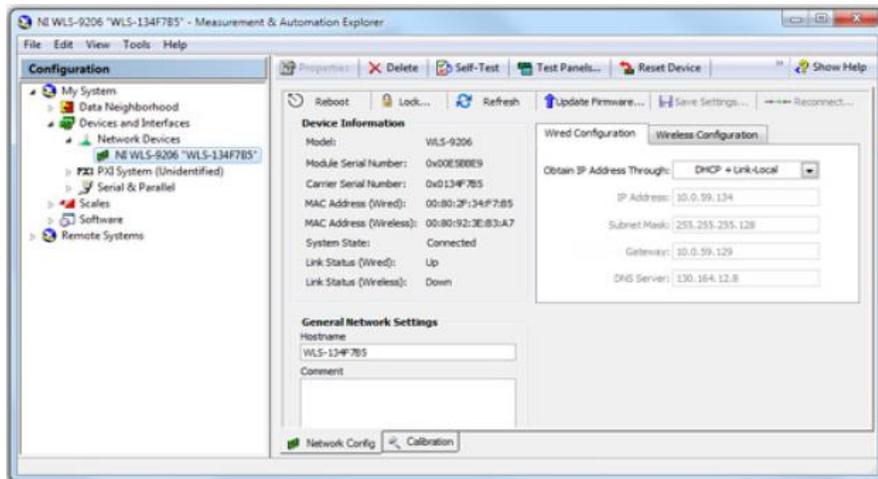


Figura 4.54. Configuración del tipo de conexión de la DAQ.

Posteriormente, en el lado izquierdo de la pantalla, donde aparece el nombre del dispositivo instalado, dar clic derecho, y seleccionar la opción Self-Test, esta es una prueba rápida, en ella se realiza una prueba de comunicación entre la PC y la tarjeta de adquisición de datos. Si el proceso es exitoso aparecerá la siguiente leyenda (figura 4.55). Solo es necesario realizar este proceso una ocasión, al configurar las tarjetas y dar de alta los canales para la interfaz.



Figura 4.55. Prueba concluida.

Terminado este proceso, solo resta la configuración dentro de la interfaz.

4.- Dentro de la interfaz, se debe dar de alta cada uno de los canales utilizando el DAQ assistant, especificando para la tarjeta NI 9213, que las lecturas son de termopares tipo J. En la tarjeta NI 9208, se debe configurar para lectura de señales en rango de 4-20 mA, o 0-20 mA, según sea el caso del sensor. La señal obtenida, debe ser separada con la herramienta "Select signals", se separa cada una de las señales, y de acuerdo a la descripción de la tabla siguiente, se debe realizar la conexión a las líneas de los indicadores correspondientes.

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

Tabla 4.10. Descripción y canal de entrada de los sensores.

Etiqueta	Descripción	I/O
T1	termopar tipo J, ubicado a la salida de los álabes de la turbina Coppus	canal 0, NI 9213
T2	termopar tipo J, ubicado a la entrada de los álabes de la turbina Coppus	canal 1, NI 9213
T3	termopar tipo J, ubicado en la línea de vapor de alimentación	canal 2, NI 9213
T4	termopar tipo J, ubicado en el intercambiador de calor, en la salida del agua de enfriamiento	canal 3, NI 9213
T5	termopar tipo J, ubicado en el intercambiador de calor, en la salida de vapor	canal 4, NI 9213
T6	termopar tipo J, ubicado en la entrada de vapor del intercambiador de calor	canal 5, NI 9213
T7	termopar tipo J, ubicado en el intercambiador de calor, en la entrada del agua de enfriamiento	canal 6, NI 9213
T8	termopar tipo J, ubicado en el tanque de condensados	canal 7, NI 9213
T9	termopar tipo J, ubicado en la caldera Clayton	canal 8, NI 9213
M1	Sensor de presión Satra 522, de -1 a 4 bar, ubicado a la salida de los álabes de la turbina.	canal 0, NI 9208
M2	Sensor de presión Satra 522, de 0-16 bar, ubicado a la entrada de los álabes de la turbina.	canal 1, NI 9208
M3	Sensor de presión Satra 522, de 0-16 bar, ubicado en la línea de alimentación de vapor	canal 2, NI 9208
M4	Sensor de presión Satra 522, de -1 a 1 bar, ubicado en el intercambiador de calor	canal 3, NI 9208
M5	Sensor de presión Satra 522, de 0-25 bar, ubicado en la caldera Clayton	canal 4, NI 9208
M6	Sensor de presión Satra 522, de 0-25 bar, ubicado en la trampa de vapor	canal 5, NI 9208
M7	Sensor de presión Satra 522, de 0-40 bar, mide presión de alimentación de diésel	canal 6, NI 9208
M8	Sensor de presión Satra 522, de 0-25 bar, mide la presión de alimentación de la caldera Clayton	canal 7, NI 9208
M9	Sensor de presión Satra 522, de 0-10 bar, mide la presión del tanque de tratamiento suavizador	canal 8, NI 9208
M10	Sensor de presión Satra 522, de 0-16 bar, mide la presión antes del codo.	canal 9, NI 9208
M11	Sensor de presión Satra 522, de 0-16 bar, mide la presión después del codo	canal 10, NI 9208
Voltímetro	mide el voltaje del generador de corriente continua	canal 12, NI 9208
Amperímetro	mide la corriente del generador de corriente continua	canal 11, NI 9208
Velocidad angular	mide las rpm del generador de corriente continua	canal 13, NI 9208
Celda	Mide la fuerza generada por la turbina	Canal 0, NI 9219

4.5.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

Para la interfaz del generador de vapor, se deben activar los siguientes sensores mostrados en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Sensores del generador de vapor

Etiqueta	Canal
T8	7 NI 9213
T9	8 NI 9213
M5	4 NI 9208
M6	5 NI 9208
M7	6 NI 9208
M8	7 NI 9208
M9	8 NI 9208
M10	9 NI 9208
M11	10 NI 9208

Para la interfaz de la turbina Coppus, la configuración se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.12. Sensores turbina Coppus

Etiqueta	Canal
T1	0 NI 9213
T2	1 NI 9213
T3	2 NI 9213
M1	0 NI 9208
M2	1 NI 9208
M3	2 NI 9208
M10	9 NI 9208
M11	10 NI 9208
Amperímetro	11 NI 9208
Velocidad angular	12 NI 9208
Voltímetro	13 NI 9208
Celda	0 NI 9219

En el intercambiador de calor, los sensores que deben activarse son los mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 4.13. Sensores para el intercambiador de calor.

Etiqueta	Canal
T4	3 NI 9213
T5	4 NI 9213
T6	5 NI 9213
T7	6 NI 9213
M4	3 NI 9208
M10	9 NI 9208
M11	10 NI 9208

Terminado este proceso, ya es posible utilizar la interfaz para el monitoreo del ciclo Rankine.

El proceso descrito anteriormente solo se tiene que realizar la primera ocasión, el resto de las ocasiones la interfaz se utiliza directamente.

5



PRUEBAS Y VALIDACIÓN

“Si he hecho descubrimientos invaluablesha sido más por tener paciencia que cualquier otro talento”. Isaac Newton.

El sistema propuesto anteriormente, es completamente funcional, para demostrarlo, se realizaron mediciones de temperatura en una caldera del ciclo Rankine del laboratorio, en la que se utilizaron los siguientes materiales:

- Ciclo Rankine
- DAQ NI 9219 WLS
- Termopar tipo J
- Termopar tipo K
- Laptop Procesador Pentium 2.13 GHz doble núcleo, 3Gb memoria RAM



Figura 5.1. Ciclo Rankine.

La caldera utilizada (figura 5.1) es capaz de trabajar a una presión de 3.5 bar y alcanzar los 150°C. Se colocó el termopar tipo J en un termopozo ubicado en la caldera, el termopar tipo K, se colocó después de una válvula de alivio, donde se esperaban medias de temperatura aproximadas a los 100°C.

La tarjeta de adquisición de datos utilizada es la NI 9219 (figura 5.2), que cuenta con las siguientes características:

- 4 canales de entrada universal a 100S/s
- Acondicionamiento de señal integrado
- Capaz de procesar señales de termopares, RTD, resistencias de 2 y 4 cables, voltaje, corriente.
- Conexión Wi-Fi



Figura 5.2. Tarjeta NI 9219

Gracias al acondicionamiento de señal de esta tarjeta, se pueden medir lecturas de cualquier tipo de termopar. Para la configuración de dicha tarjeta y realizar las pruebas, se utilizó el MAX (measurement & automation explorer), donde se realizó el proceso que se describe a continuación.



Figura 5.3. Chasis NI 9163 WLS.

Para que se pueda reconocer un dispositivo DAQ con conexión Wi-Fi, primero es necesario conectar la DAQ a la laptop por medio del puerto Ethernet que tiene el chasis mostrado en la figura 5.3, una vez que el MAX reconoce la tarjeta, se da de alta y se puede configurar la conexión Wi-Fi.

Para trabajar con una sola DAQ, es posible realizar la conexión vía Wi-Fi sin necesidad de un router, para lograr dicha configuración, se utiliza el tipo de red Ad Hoc, una red ad hoc inalámbrica es un tipo de red descentralizada. La red no depende de infraestructura pre existente, como router o de puntos de acceso en redes inalámbricas. La limitación es que solo se puede trabajar con una DAQ utilizando este tipo de red.

5.- PRUEBAS Y VALIDACIÓN

- Para utilizar el tipo de red mencionado, el primer paso es cambiar la configuración ip de la laptop, pasando de ser una dirección ip variable a una estática (figura 5.4). La dirección ip consta de un número binario de 32 bits que se divide en 4 octetos, para el caso de la red requerida, los primeros 3 octetos deben ser iguales para que se los dispositivos identifiquen que trabajan en la misma red. El cuarto octeto puede ser un número entre 0-255, que asigna el número para cada equipo.

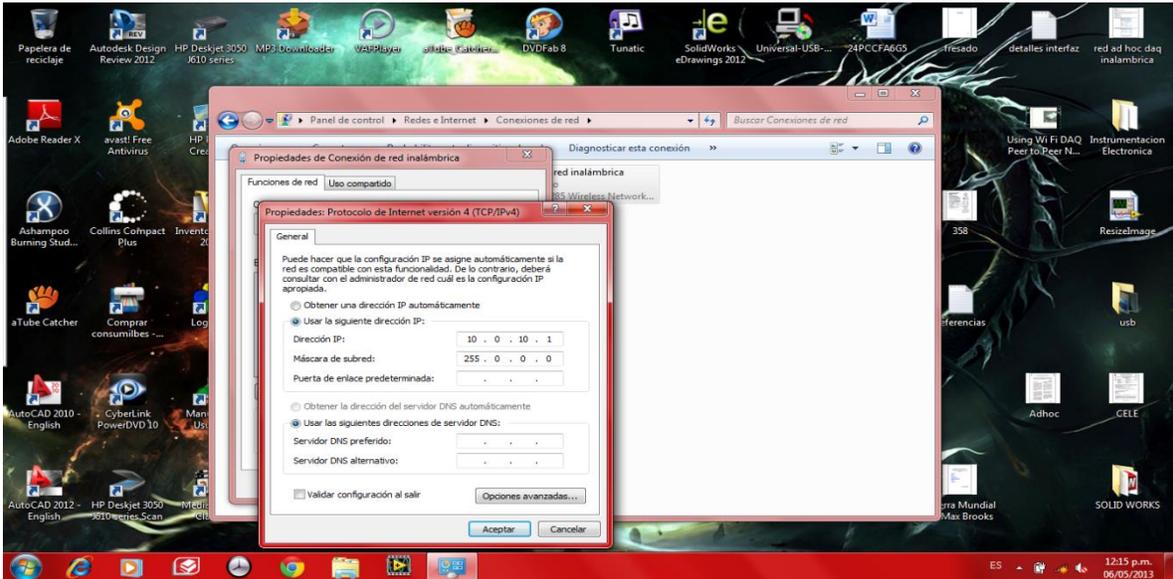


Figura 5.4. Dirección IP estática.

Este procedimiento también se realiza en el MAX (figura 5.5), donde debemos especificar que trabajaremos con una red ad hoc, introducir la dirección IP, y el número de canales de la tarjeta.

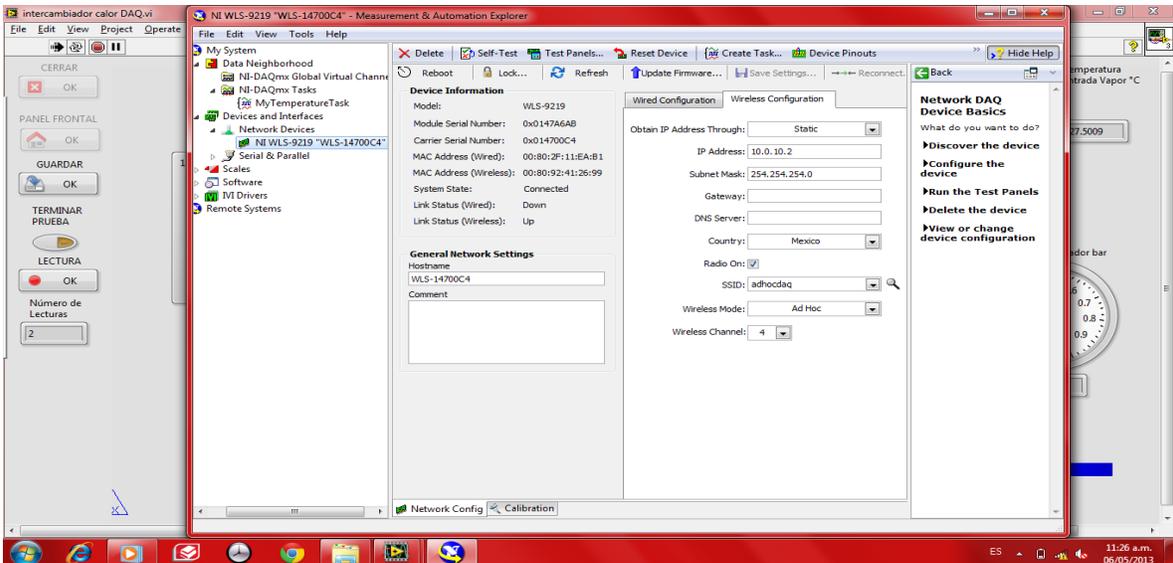


Figura 5.5. Dirección IP MAX.

- Terminada la configuración de la red y comprobando el estado de la misma, se procede a configurar el DAQ assistant dentro de la interfaz.

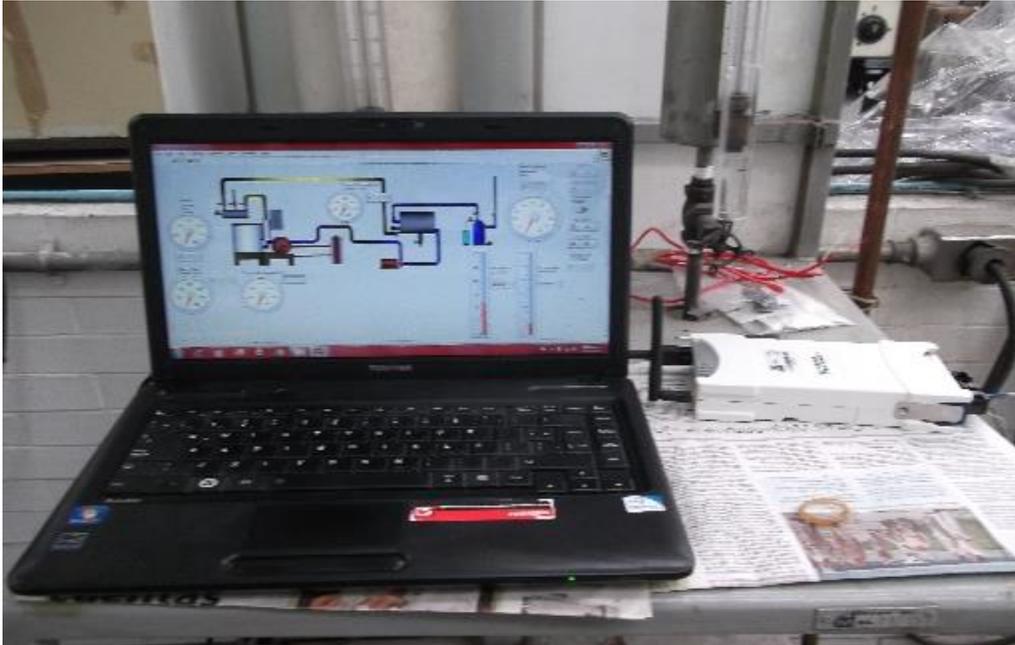


Figura 5.6. DAQ y laptop con interfaz.

El DAQ assistant (figura 5.7), es la herramienta utilizada para dar de alta los canales que serán utilizados en la adquisición de datos, en esta herramienta seleccionamos el tipo de medida que tomará cada canal, en este caso termopares, y para cada uno especificamos el tipo de termopar.

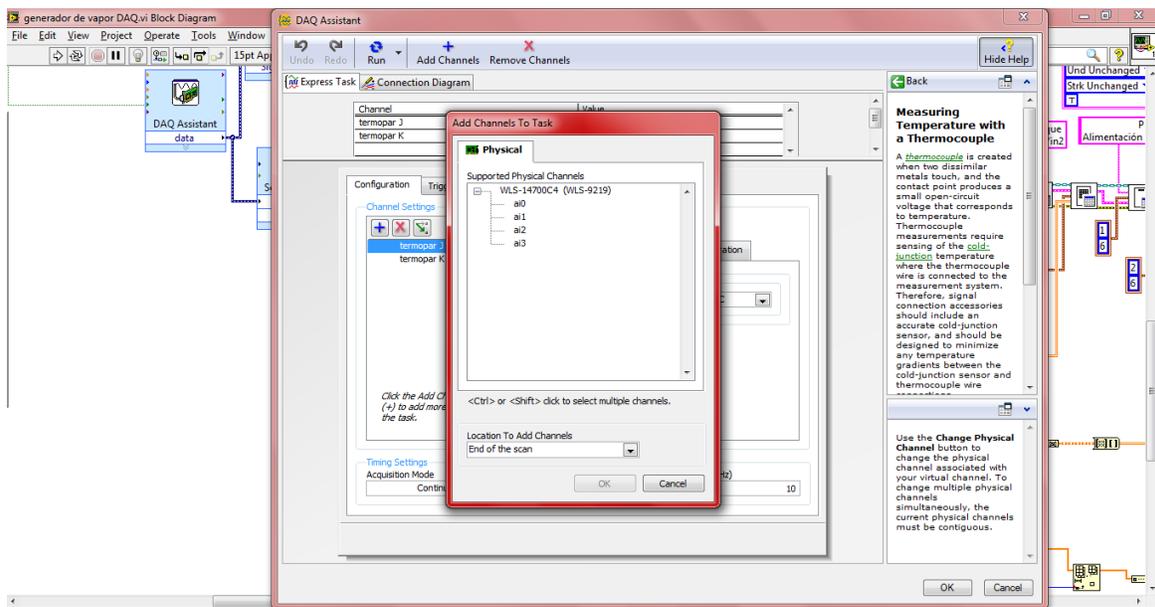


Imagen 5.7. Configuración de canales DAQ assistant

- Los canales utilizados son el 3 y 2, donde se conectaron el termopar tipo J y K respectivamente, de acuerdo a la información de la tarjeta, el polo positivo de los termopares se conecta en el puerto 5 y el negativo en el 6 como se muestra en la figura 5.8.



Figura 5.8. Conexión termopares.

Para la prueba, se utiliza la pantalla de generador de vapor, donde solo 2 indicadores de temperatura correspondientes a los termopares recibirán y procesarán datos, el resto de los indicadores permanece sin señal. Dentro del DAQ assistant se comprueba la conexión correcta de los sensores haciendo una prueba rápida (figura 5.9).

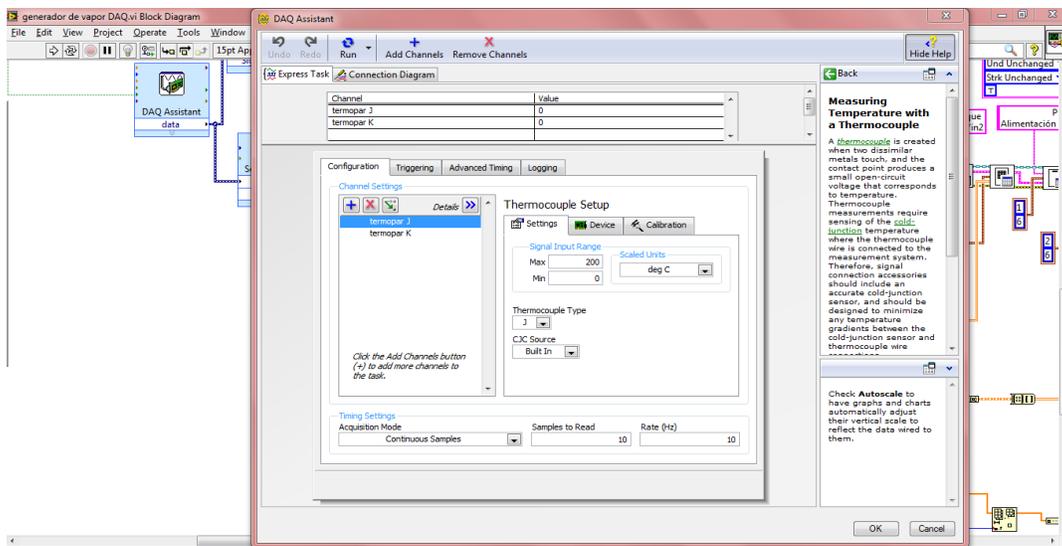


Imagen 5.9. Alta de termopares y número de lecturas por segundo.

5.- PRUEBAS Y VALIDACIÓN

- Comprobado que el sistema funciona correctamente, se inicia el encendido de la caldera, donde monitoreamos en tiempo real la temperatura del vapor dentro de la caldera, y cuando se lleguen a las condiciones máximas de presión y temperatura, se monitorea la temperatura de salida del vapor después de la válvula de alivio (figura 5.10).



Figura 5.10. Termopares sensando durante la prueba

Durante el desarrollo de la prueba, se tomaron 29 lecturas de temperatura de cada termopar mostradas en la figura 5.11, mismas que fueron registradas exitosamente en el archivo de Excel correspondiente.

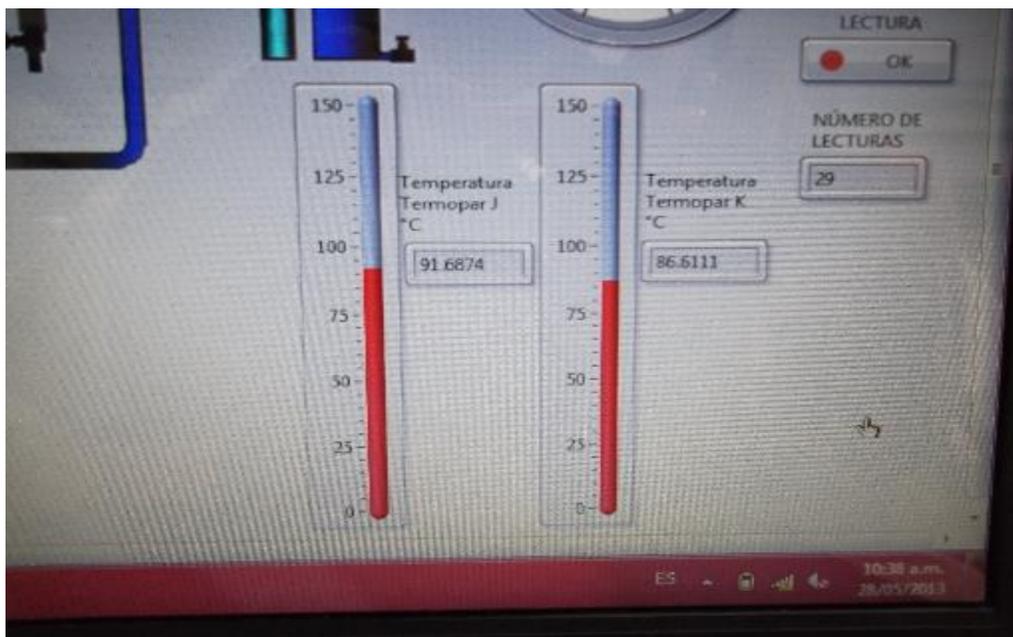


Figura 5.11. Lecturas en tiempo real de la interfaz.

	D	E	F	G	H	I	J
	Tempo	Combustible	Agua de alimentación	Alimentación	Caldera	Tempo	Presión Trampa de Vapor
	Temperatura °C	Presión lb/in ²	Presión Tanque Suavizador lb/in ²	Alimentación lb/in ²	Presión Vapor	Vapor °C	Presión Trampa de Vapor lb/in ²
3	18.671	0	0	0	0	55.508	0
4	19.05	0	0	0	0	87.363	0
5	19.51	0	0	0	0	100.21	0
6	19.677	0	0	0	0	109.149	0
7	19.854	0	0	0	0	117.295	0
8	20.196	0	0	0	0	121.35	0
9	20.368	0	0	0	0	126.45	0
10	21.057	0	0	0	0	136.653	0
11	32.03	0	0	0	0	138.837	0
12	52.206	0	0	0	0	139.704	0
13	94.501	0	0	0	0	140.361	0
14	96.23	0	0	0	0	142.14	0
15	100.662	0	0	0	0	142.353	0
16	101.876	0	0	0	0	141.36	0
17	101.308	0	0	0	0	133.359	0
18	101.505	0	0	0	0	138.452	0
19	100.876	0	0	0	0	136.899	0
20	99.768	0	0	0	0	133.721	0
21	98.362	0	0	0	0	129.815	0
22	97.478	0	0	0	0	127.678	0
23	95.36	0	0	0	0	122.871	0
24	94.258	0	0	0	0	121.292	0
25	91.666	0	0	0	0	117.155	0
26	91.22	0	0	0	0	114.676	0
27	91.136	0	0	0	0	112.049	0
28	91.251	0	0	0	0	106.633	0
29	91.021	0	0	0	0	101.306	0
30	90.69	0	0	0	0	97.694	0
31	91.757	0	0	0	0	93.231	0
32	82.838	0	0	0	0	90.906	0

Figura 5.12. Reporte Excel.

➤ **La segunda prueba** fue realizada en la turbina de vapor Coppus. En ella se monitoreó el comportamiento de la temperatura del vapor en 3 zonas distintas: la línea de alimentación de la turbina, la entrada a los álabes, y la salida de los álabes de la turbina.

El material utilizado fue:

- Turbina de vapor Coppus
- 3 termopares tipo J
- DAQ NI 9219
- Laptop Procesador Pentium 3GHz doble núcleo, 3Gb de memoria RAM.

El procedimiento para conexión de la DAQ y termopares, la detección y alta de los canales, fue el mismo que está descrito en la primera prueba. Se utilizó la pantalla diseñada para la turbina Coppus, que trabajó alrededor de 40 minutos monitoreando el comportamiento de la temperatura del fluido.

Después de tomar 16 lecturas por cada termopar, la interfaz creó el archivo en formato Excel donde almacenó los datos en una tabla para un manejo fácil de los mismos (figura 5.14).



Figura 5.13. Adquisición de datos para turbina Coppus

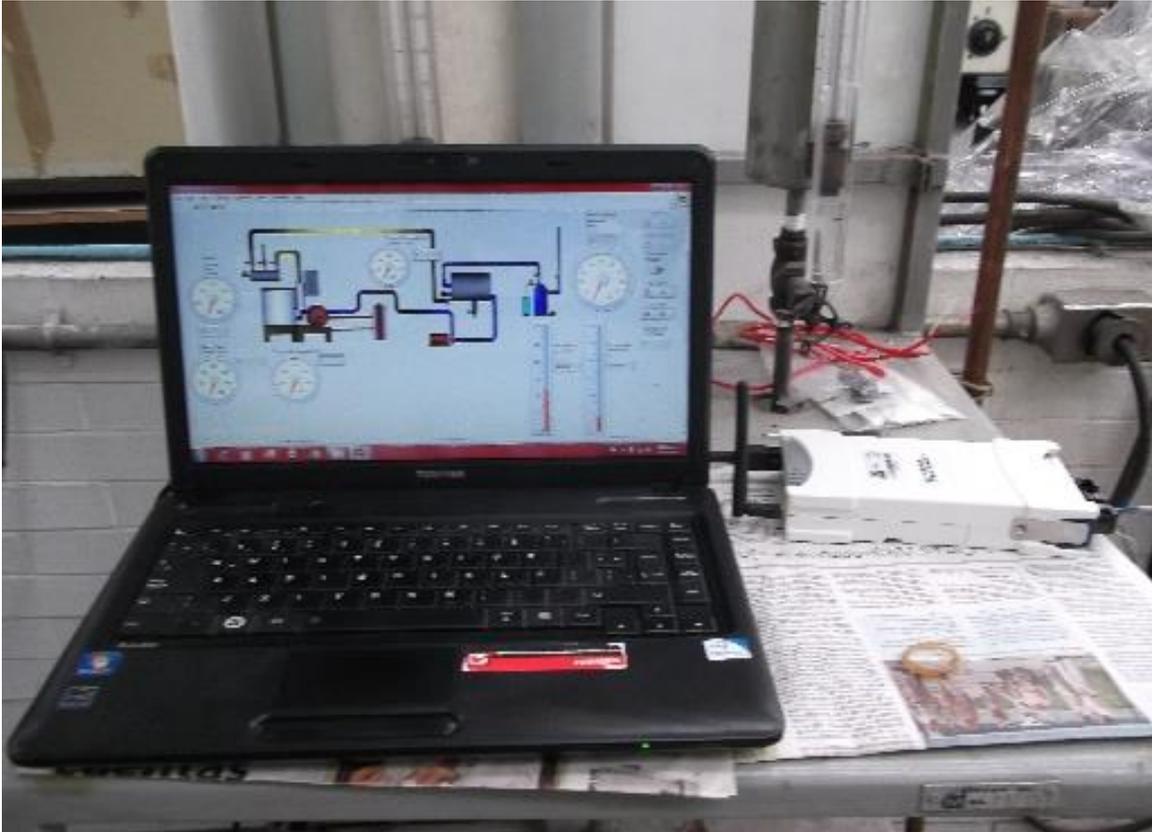
			Línea alimentación		Álabes Entrada		Álabes Salida		Generado de CC			Flujo Condensad
			Temperatura °C	Presión bar	Temperatura °C	Presión bar	Temperatura °C	Presión bar	Voltaje (V)	Corriente (A)	RPM	
2			22.123	0	21.211	0	20.477	0	0	0	0	0
3	CARRERA	IMC	22.331	0	21.471	0	20.644	0	0	0	0	0
4	ASIGNATURA	PRUEBA	22.433	0	21.543	0	20.788	0	0	0	0	0
5	GRUPO	3 TERMOPARES	83.178	0	83.118	0	20.927	0	0	0	0	0
6	FECHA	21/08/2013	97.312	0	97.358	0	21.017	0	0	0	0	0
7			107.429	0	106.715	0	34.291	0	0	0	0	0
8			103.36	0	103.182	0	40.435	0	0	0	0	0
9			109.987	0	109.783	0	44.35	0	0	0	0	0
10			129.703	0	129.504	0	55.898	0	0	0	0	0
11			129.147	0	129.157	0	55.867	0	0	0	0	0
12			131.546	0	128.362	0	56.012	0	0	0	0	0
13			164.308	0	142.667	0	56.607	0	0	0	0	0
14			176.324	0	155.224	0	76.571	0	0	0	0	0
15			185.186	0	162.422	0	83.808	0	0	0	0	0
16			184.505	0	168.219	0	94.426	0	0	0	0	0
17			148.638	0	151.07	0	93.647	0	0	0	0	0
18			148.711	0	150.298	0	93.349	0	0	0	0	0

Figura 5.14. Reporte Excel turbina Coppus

Para la implementación en el ciclo Rankine, se debe seguir la misma metodología empleada durante las pruebas, con la diferencia que será aplicado con un mayor número de sensores, se demostró que es posible la adquisición de datos de múltiples sensores, el correcto almacenamiento de los datos solicitados, y lo principal, que será de gran impacto dentro de la enseñanza en ingeniería.

Las pruebas anteriormente descritas, demuestran que la propuesta del sistema de supervisión y adquisición de datos es viable, funcional, y se demuestra el correcto funcionamiento de la interfaz diseñada.

6



CONCLUSIONES

“Los hombres geniales comienzan grandes obras, los hombres trabajadores las terminan”.
Leonardo da Vinci.

Mediante las pruebas realizadas, podemos observar que es viable la implementación de sistemas de adquisición de datos, los datos obtenidos se compararon con datos proporcionados de prácticas realizadas anteriormente, y se observó que las lecturas de temperatura tomadas con los termopares correspondían a los valores esperados dadas las condiciones de presión en cada estado.

Este proyecto es el inicio de una serie de implementaciones de sistemas de adquisición de datos que pretende mejorar la calidad de la enseñanza mediante el uso de nuevas tecnologías para impartir prácticas de laboratorio y mejorar la infraestructura de la facultad.

Mediante la implementación del sistema de adquisición de datos, se dota de mejores herramientas para la realización de prácticas. El sistema implementado beneficiará a 560 alumnos en promedio por semestre de las áreas de térmica y Mecatrónica. Para tener un control de las prácticas realizadas, el reporte de la práctica es enviado al jefe de laboratorios, para que se tenga una bitácora de las actividades realizadas y participar en programas de mejora.

El sistema permite acercar nuevas tecnologías a los alumnos de ingeniería mecánica, y nos brinda la posibilidad de impartir diplomados de actualización. Estos diplomados, proporcionan herramientas al egresado de ingeniería para competir en el ámbito laboral, y generar ingresos para la facultad.

- Cengel Y. & Boles, A. *Termodinámica*, Sexta edición, México: McGraw-Hill, 2009, 744 pp.
- Clyde F. Coombs, Jr., *Electronic Instruments Handbook*, third edition, USA: McGraw-Hill, 2000.
- Del Río Fernández J., Shariat-Panahi S., Sarriá Gandul D., Manuel Lázaro A., *LabVIEW: Programación para sistemas de instrumentación*, Primera edición, México: Alfaomega, 2013, 350 pp.
- Lajara R. & Pelegrí, J., *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*, México: Alfaomega, 2011, 470 pp.
- López López J.R., *Calibración de instrumentos de medición de flujo para conductos cerrados*, Panamá: Tesis de licenciatura, 2011.
- Morán M. & Shapiro, H., *Fundamentos de Termodinámica técnica*, Segunda edición, España: Reverte, 2004, 888 pp.
- Pérez García, M.A., *Instrumentación electrónica*, Segunda Edición, España: Thomson editores, 2005.
- Wark, Kenneth Jr., *Termodinámica*, Sexta edición, España: McGraw-Hill, 2001.
- Valdés, Gustavo (2013). Tecnologías inalámbricas para adquisición de datos. Recuperado de:
ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/Mexico/NIDays_2010/2010%20NIDays%20Norte/Tecnologias%20Inalambricas%20para%20Adquisicion%20de%20Datos.pdf
2013. Cómo hacer medidas con células de carga o transductores de presión. Recuperado de: <http://www.ni.com/white-paper/7138/es/>
2013. Conecte galgas extensiométricas a un dispositivo de adquisición de datos (DAQ). Recuperado de:
<http://www.ni.com/gettingstarted/setuphardware/dataacquisition/esa/straingages.htm>
2013. Conecte termopares a un dispositivo de adquisición de datos. Recuperado de:
<http://www.ni.com/gettingstarted/setuphardware/dataacquisition/esa/thermocouples.htm>
2013. Diagrama de conexión de sensor MCR-VDC-UI-B-DC. Recuperado de:
<http://eshop.phoenixcontact.net/phoenix/treeViewClick.do?UID=2811116>
2013. Hoja de información del sensor ST 420. Recuperado de:
http://www.electro-sensors.com.mx/documents/ST_ESP_RevB.pdf
2013. Instale y configure dispositivos NI 9163. Recuperado de:
<http://www.ni.com/gettingstarted/setuphardware/dataacquisition/esa/wireless.htm>
2013. Manual de instalación del sensor ST 420. Recuperado de:
http://www.electro-sensors.com.mx/documents/ST420_Manual.pdf

2013. NI 9208. Operating instructions and specifications. Recuperado de:
<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-160/lang/es>

2013. NI 9213. Operating instructions and specifications. Recuperado de:
<http://www.ni.com/pdf/manuals/374916a.pdf>

2013. NI 9219 WLS. Recuperado de: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-80/lang/es>

2013. Sensor de presión Setra 522. Recuperado de:
www.setra.com/.../Model-522-Data-Sheet.aspx

2013. The benefits of Wireless Technology. Recuperado de: <http://www.ni.com/white-paper/8940/en/>

2013. Transductor de corriente Hawkeye 970. Recuperado de:
<http://www.ampere.com.mx/productos/detalle/126/Transductor-o-Sensor-de-Corriente-Directa-Veris-Hawkeye-970>

2013. Transductor de voltaje MCR-VDC-UI-B-DC. Recuperado de:
<http://www.farnell.com/datasheets/341063.pdf>