

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL Y
SUPERVISIÓN A DISTANCIA PARA UNA
PLANTA DE VAPOR, GENERADORA DE
ENERGIA ELECTRICA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

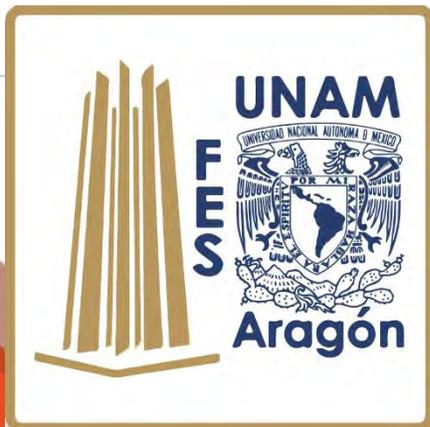
PRESENTA:

GERARDO CARBAJAL ALVAREZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.I HUMBERTO MANCILLA ALONSO

**NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE
MÉXICO 2016**





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A **DIOS** por la vida tan maravillosa que me ha dejado disfrutar.

Con todo mi corazón para mi padre **Gerardo Carbajal Méndez**, que desde el cielo vea los frutos de este trabajo y espero este orgulloso de lo que el sembró en mí. A mi madre **Julia Alvarez Miranda** por todo su cariño, amor y paciencia, A mi hermana **Joana Carbajal** por ser mi apoyo incondicional.

A mi tío **Alejandro Carbajal** que siempre me ha apoyado y es como un segundo padre para mí, a mi abuela **Juana Méndez** por su amor incondicional y enseñanzas. A mi tío **Alfonso Carbajal** que también es una figura importante para mí, A todos mis tíos, tías y familiares que me han apoyado y me han dado algún consejo, a mis primos que son como mis hermanos Alfonso Carbajal Solis Samanta Carbajal, Jesús Alvarez, Judith C, Vicente Romero, Cristian, Alfredo Alvarez, Ulises, Ervin, Cristina, lola, Edith, Alex, Luis.

A mi maestro, amigo y director de Tesis: **M.I Humberto Mancilla Alonso** por enseñarme el valor del conocimiento y trabajo en equipo, de motivarme para siempre hacer mucho mejor mi trabajo y formar en mí un profesionista con intención de mejorar mi país, mi sociedad y darle solución a las necesidades humanas; gracias por confiar en mí y por darme el honor de trabajar con usted.

Al **Club de Mecatrónica**, por hacer la diferencia, Innovar, e impactar dentro de la Fes Aragón, y que ha hecho de la FES un lugar mejor para estudiar, estoy orgulloso de formar parte de ustedes amigos míos, gracias a todos mis amigos del Club: Cesar Millán Rosas por el apoyo mostrado al realizar las pruebas en la Turbina, Juan Antonio Escalante, Ildefonso, Giovanni, Joel Valerio, a la Old School: Gabriel Mendoza Vargas, Rogelio Velázquez Garibay, Luis Alcántara, Cesar Maravillas, Gracias a todos.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por formarme como profesionista con una visión profunda y con gran orgullo, a la **FES Aragón** por permitirme estudiar ingeniería, a mis profesores que también son un ejemplo: Everardo E, Alfredo V, Fernando M. A la **ENP 7 Ezequiel A. Chávez**. Por ser la primera escuela que me abrió las puertas a la UNAM y por tres años maravillosos de mi Adolescencia. Gracias universidad "Por mi raza hablara el Espíritu".

Gracias especiales a **DGAPA** por el proyecto **PAPIME PE101614** por el apoyo económico para que fuera posible la realización de este trabajo, Al profesor **M.C Jorge Vázquez Cervantes** por apoyarme cada vez que necesitaba realizar pruebas en la turbina, dejarme y enseñarme a operar el equipo, ayudarme con material, impresiones y su disposición siempre que lo necesitaba.

Y A todos mis amigos que he hecho a lo largo de mi vida y que ya son mis hermanos, Josué Martínez Torres, Mario Alberto Gutiérrez, Julio Cesar Ocegüera, Julio Carrera, Valeria Lizée, Cirino Simón, Armando Terán, Juan Carlos.

Índice

Introducción	1
Objetivo.....	2
1 Antecedentes.....	3
1.1 Ciclo Rankine	4
1.2 Sistema de Adquisición de Datos.....	11
1.3 Diseño de una Servoválvula.....	12
1.4 Instrumentación Virtual	13
2 Levantamiento	14
2.1 Identificación de la Necesidad	15
2.2 Planteamiento del problema	16
2.3 Propuesta de solución	17
2.4 Estado del Arte	17
2.4.1 SCADA.....	17
2.4.2 Protocolos de Comunicación en Red	19
2.5 Requerimientos.....	21
3 Diseño Conceptual.....	22
3.1 Diseño y metodología en Instrumentación Virtual	23
3.2 Funciones de la Interfaz.....	25
3.3 Configuración del sistema de medición.....	26
3.3.1 Sensores	26
3.3.2 Acondicionamiento de Señal	36
3.3.3 Tarjetas de Adquisición de Datos.....	40
3.3.4 Software LabVIEW	42
3.4 Composición del sistema de instrumentación virtual.....	44
3.4.1 Sensores y sus características.....	44
3.4.2 Transductores de Acondicionamiento.....	48
3.4.3 DAQs	50
3.4.4 Interfaz para Turbina de Vapor.....	52
3.4.5 Modelos y CADs de Gabinete de Control	56

4	<i>Diseño de Detalle</i>	57
4.1	<i>Conexiones para Gabinete de Control</i>	58
4.1.1	<i>Conexiones para los sensores y transductores</i>	58
4.1.2	<i>Conexiones en canales de las DAQs</i>	62
4.1.3	<i>Gabinete de control y conexiones</i>	64
4.2	<i>Red ThermoVirtual y conexión de hardware DAQ</i>	66
4.2.1	<i>Red ThermoVirtual</i>	66
4.2.2	<i>Configuración de las DAQs en el NI MAX</i>	68
4.2.3	<i>Configuración de las DAQs en el DAQ Assistant</i>	69
4.3	<i>Cálculos realizados para procesar las señales de los sensores</i>	71
4.3.1	<i>Linealidad en los sensores y ecuaciones</i>	71
4.3.2	<i>Transductor no lineal con salida Logarítmica</i>	76
4.4	<i>Cálculos para visualizar voltaje y corriente del generador</i>	79
4.5	<i>Diagrama de Bloques</i>	80
4.6	<i>Generación de Reportes en Excel</i>	83
4.7	<i>Comunicación con tarjeta de control de servovalvula</i>	85
4.8	<i>Variables Compartidas</i>	86
4.9	<i>LabVIEW Web server</i>	88
4.10	<i>Publicación de Interfaces en Internet</i>	90
5	<i>Resultados Pruebas y Validacion</i>	92
5.1	<i>Comparación de variables físicas</i>	93
5.2	<i>Monitoreo de variables de proceso</i>	96
5.3	<i>Captura de Datos y Generación de Reportes</i>	101
5.4	<i>Supervisión de procesos remotos</i>	105
5.5	<i>Implementación en prácticas de laboratorio</i>	107
	<i>Conclusiones</i>	110
	<i>Referencias y Bibliografía</i>	111
	<i>Planos y Anexos</i>	114

Introducción

En este trabajo se Desarrolló un Instrumento Virtual de Supervisión a Distancia para la Turbina COPPUS, que permite manipular una servoválvula y supervisar de manera remota, mediante una interfaz en la computadora, variables como temperaturas, presiones, velocidad angular del generador y torque entregados por la turbina, visualizando esta interfaz a través de internet y en dispositivos móviles portátiles.

La metodología usada en este trabajo está basada en el proceso de Diseño de Pahl y Beitz pero aplicada a un proyecto de Instrumentación Virtual, la Mecatrónica integra en el diseño diferentes áreas como la Mecánica, la Electrónica y el Control, con el propósito de Diseñar dispositivos y sistemas más autónomos y tener un proyecto mucho más completo, considerando en el diseño de un instrumento virtual todos los aspectos que involucran sensores, hardware y software.

En este caso se aplica la Instrumentación Virtual al área Térmica, donde para poder medir variables físicas y termodinámicas es importante conocer a profundidad el concepto de cada variable como Temperatura, Presión, Entalpia y Potencia, con el fin de tener un amplio rango de conocimiento sobre estas variables, conocer los mejores métodos para su adquisición, incluir los sensores y transductores más apropiados para adquirir y cuantificar estas variables.

Durante este Desarrollo se mencionan los sensores y transductores utilizados, el principio de funcionamiento de los sensores, como acondicionar las señales provenientes de ellos, se describe el Hardware de Adquisición de datos DAQ de National Instruments y como configurarlo para procesar las señales obtenidas, como conectar las DAQs utilizando una red hospeda desarrollada para esta aplicación, se realizaron los diagramas de conexiones para los sensores y las DAQs, así como CADs del gabinete de control desarrollado y sus componentes, se realizaron las conexiones y se instaló en el laboratorio de máquinas térmicas de la fes Aragón.

Se menciona detalladamente las conexiones realizadas a cada componente las etiquetas utilizadas y los cálculos realizados para las escalas y procesamiento de las señales de los sensores, se programó en el Software LabVIEW el diagrama de Bloques para realizar todas las funciones correspondientes con adquisición de señales y exportación de datos en la red.

Se desarrollaron cuatro interfaces para la turbina, las primeras dos interfaces publican el panel frontal en la red junto con un NI Web Server que contiene variables compartidas que exportan la información de la Turbina COPPUS y se puede acceder a ellas a través de internet; para la tercera interfaz se utilizó la aplicación LabVIEW Data Dash Board para supervisar estas variables desde dispositivos móviles portátiles; y la cuarta interfaz también permite manipular de manera remota una servovalvula.

Finalmente se utiliza un programa que crea una red virtual que permitirá unir en una red local ficticia todas las computadoras que deseen acceder a la interfaz y supervisar el ciclo remotamente desde cualquier sitio, Facultad o Escuela, en los resultados se comprobó satisfactoriamente el funcionamiento de todo lo antes mencionado, se realizaron comparaciones de los instrumentos virtuales y los instrumentos originales del ciclo y ambos eran exactos, pero con mucha más precisión los instrumentos virtuales, se realizaron practicas con alumnos que cursaban el semestre y actualmente el sistema ya es funcional para utilizarse dentro de las prácticas de Maquinas Térmicas.

Objetivo

Garantizar la seguridad de los alumnos al realizar las prácticas del Ciclo Rankine relacionadas con altas Temperaturas y Presiones de vapor. Desarrollando un Instrumento Virtual de Supervisión a Distancia para la Turbina COPPUS, que permite manipular una servoválvula y supervisar de manera remota, mediante una interfaz en la computadora, variables como temperaturas, presiones, velocidad angular del generador y torque entregados por la turbina, visualizando esta interfaz a través de internet y en dispositivos móviles portátiles.

De esta manera incluir tecnologías de Supervisión Remota dentro de las prácticas del Laboratorio de Máquinas Térmicas permitiendo impartir prácticas a distancia a otras Facultades o Escuelas y actualizar el equipo de instrumentación y monitoreo de la Turbina de vapor del Ciclo Rankine.

De igual manera permite a los alumnos conocer los SCADA existentes en la industria, a través de la interacción con sistemas de Instrumentación Virtual, Automatización y dispositivos Mecatrónicos, impulsando el desarrollo del área Mecatrónica en la carrera de Ingeniería Mecánica.

1. Antecedentes



“Deberíamos usar el pasado como trampolín y no como sofá.” ([Harold MacMillan.](#))

1.1. Ciclo Rankine

El Ciclo Rankine es un conjunto de máquinas térmicas que realizan la conversión de energía térmica en trabajo mecánico mediante el uso de una turbina de vapor, mismo trabajo que hace girar un generador eléctrico para obtener energía eléctrica, este es el ciclo que actualmente utilizan todas las centrales termoeléctricas.

El ciclo Rankine de FES Aragón está conformado por:

- Una Bomba que suministra el trabajo necesario para comprimir el agua a una mayor presión.
- Una Caldera en la cual se suministra energía térmica al agua para convertir el líquido en vapor.
- Un Sobrecalentador para recalentar el vapor y obtener un vapor seco sobrecalentado

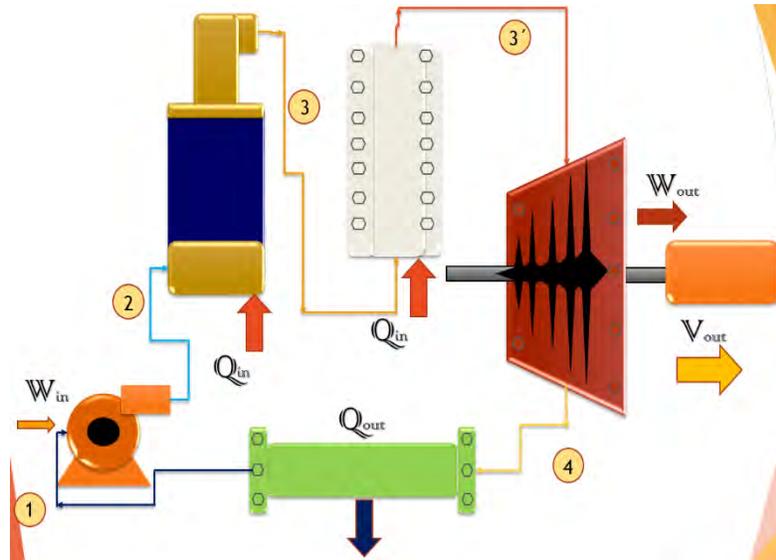


Figura 1.1.1 Ciclo Rankine

- Una Turbina de Vapor en la cual el vapor se expande desde una alta presión hasta una baja presión del condensador impulsando los alabes de la turbina, entregando trabajo mecánico que hace girar un generador eléctrico para obtener energía eléctrica.
- El Condensador es en donde el vapor entra en contacto con un flujo de agua fría, esto provoca que se condense el vapor.

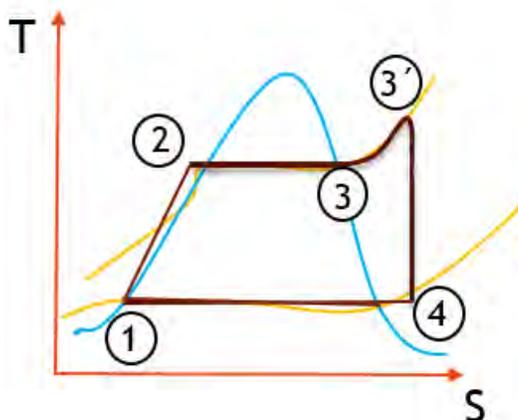


Figura 1.1.2 Diagrama T-s del ciclo Rankine Ideal

Está compuesto de los siguientes procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica y adiabática en la bomba.
- 2-3 suministro de calor isobárico (a presión constante) en la caldera.
- 3-3' Suministro de calor para recalentar el vapor.
- 3'-4 Expansión isentrópica en la turbina y transformación de calor en trabajo.
- 4-1 rechazo de calor isobárico (a presión constante) en el condensador.

El ciclo Rankine basa su funcionamiento en la primera ley de la Termodinámica, y la segunda ley de la Termodinámica. La primera dice que: “la energía en forma de calor o trabajo que entra o sale de un sistema termodinámico, no se crea ni se destruye solo se transforma en un cambio de la energía cinética, potencial o interna en la sustancia de trabajo entre la entrada y la salida del sistema”.

$$W + Q = \Delta Ec + \Delta Ep + \Delta U + \Delta PV \quad (1.1.1)$$

A la suma de la energía interna de la sustancia y el trabajo de flujo se le conoce como entalpia, la cual se define también como la cantidad de energía de un sistema termodinámico que este pueda intercambiar con su entorno.

$$\Delta H = \Delta U + \Delta PV \quad (1.1.2)$$

Aplicando la primera ley de la termodinámica a las principales máquinas que componen el Ciclo Rankine (bomba, caldera, turbina, condensador), se puede observar que para todos los casos la diferencia de energía cinética y potencial siempre será cero, de esta manera el calor o el trabajo solo depende de la diferencia de entalpias.

$$W + Q = \cancel{\Delta Ec} + \cancel{\Delta Ep} + \Delta H \quad (1.1.3)$$

En el laboratorio de Maquinas Térmicas de la FES Aragón contamos con un ciclo Rankine para las prácticas de Turbina de vapor, las máquinas que lo componen son:



Figura 1.1.3 Bomba

Bomba de Agua, la bomba necesita que se suministre trabajo para mover el fluido. Para este caso no se tiene tampoco intercambio de calor por lo que este trabajo depende de la diferencia de entalpias del agua a la entrada y a la salida de la bomba.

(1.1.4)

$$W_{Bomba} = \Delta U + \Delta PV = H_2 - H_1$$

$$W_{Bomba} = (U_{sal} + P_{sal}V_{sal}) - (U_{ent} + P_{ent}V_{ent})$$

W_{Bomba} Es el trabajo que necesita la

bomba para mover el fluido, $U_{sal} - U_{ent}$ es la diferencia de energía interna del agua a la salida y entrada de la bomba, $P_{sal}V_{sal} - P_{ent}V_{ent}$ son la presión del fluido por el volumen del mismo, este es el trabajo de flujo a la salida y la entrada de la bomba.

Proceso I-2 compresión isentrópica y adiabática en la bomba. En una compresión la bomba incrementa la presión del líquido, llevándola hasta la presión necesaria en la entrada del Generador de Vapor, idealmente es isentrópica que quiere decir que la entropía del sistema no cambia, en los procesos isentrópicos no existe transferencia de calor del sistema con el ambiente, entonces se dice que el proceso es también adiabático.



Figura 1.1.4 Caldera CLAYTON

El Generador de Vapor CLAYTON es la caldera que utilizamos en el ciclo Rankine del laboratorio. El generador de vapor, suministra la cantidad de energía térmica o calor necesario para que el agua se transforme en vapor. Para este caso no se realiza trabajo por lo que el calor suministrado depende de la diferencia de entalpías del fluido a la entrada y a la salida de la caldera.

$$(1.1.5) \quad Q_{caldera} = \Delta H$$

$$Q_{caldera} = m_a (h_3 - h_2)$$

$Q_{caldera}$ Es el calor suministrado al agua para el cambio de fase, m_a es la masa del agua, h_3 es la entalpía del vapor a la salida de la caldera, h_2 es la entalpía del agua a la entrada de la caldera.

Proceso 2-3, suministro de calor isobárico en el Generador de Vapor. Un proceso isobárico es un proceso que se realiza a

presión constante, debido a que el cambio de fase se realiza a presión constante. Durante este proceso se incrementa la energía interna del fluido de trabajo provocando un cambio de fase de líquido a vapor, debido a la alta presión del fluido, se necesita una buena fuente de energía externa suministrada por el combustible para poder realizar este cambio.

Debido que a la salida de la caldera obtenemos un vapor saturado con cierta humedad, es necesario el uso de un Sobrecalentador para que al recalentar el vapor húmedo se obtenga un vapor seco.

$$h_3 = hf + xhfg$$

$$Q_{Sobrecalentador} = m_v (h_{3'} - h_3) \quad (1.1.6)$$

h_3 Es la entalpía de la mezcla líquido-vapor saturado, hf es la entalpía del líquido saturado, x es la calidad del vapor que mide la cantidad de vapor seco, hfg es la diferencia de entalpías de vapor saturado y líquido saturado $hg-hf$.

$Q_{Sobrecalentador}$ Es el calor suministrado para sobrecalentar el vapor, m_v es la masa del vapor y $h_{3'}$ es la entalpía del vapor a la salida del sobrecalentador.



Figura 1.1.5
Sobrecalentador

La **Turbina COPPUS** es la máquina que permite transformar la energía térmica en forma de Calor que contiene el vapor a trabajo Mecánico, el vapor se expande dentro de la turbina mediante un proceso isentrópico o adiabático por eso al considerar que no hay intercambio de calor con el ambiente, el trabajo realizado sería la diferencia de entalpías del vapor a la entrada y salida de la turbina.

$$W_{Turbina} = \Delta H = m_v(h_4 - h_{3'}) \quad (1.1.7)$$

$$(h_4 - h_{3'}) = ((U_{sal} + P_{sal}V_{sal}) - (U_{ent} + P_{ent}V_{ent}))$$

$W_{Turbina}$ Es el trabajo entregado por la turbina, h_4 es la entalpía del vapor a la salida de la turbina, $h_{3'}$ es la entalpía del vapor a la entrada de la turbina. En la ecuación se puede observar cómo influye la presión sobre la entalpía, debido a que el vapor entra a la turbina con alta presión y se expande hasta la presión del condensador a la salida de la turbina, por esta diferencia de presiones el vapor impulsa los alabes y entrega trabajo mecánico, siendo prioridad conocer y medir estas presiones, de igual forma se tiene que las diferencias de energía interna están relacionados con los incrementos y decrementos de Temperatura a la entrada y salida, siendo de la misma forma necesario medir y conocer dichas temperaturas.

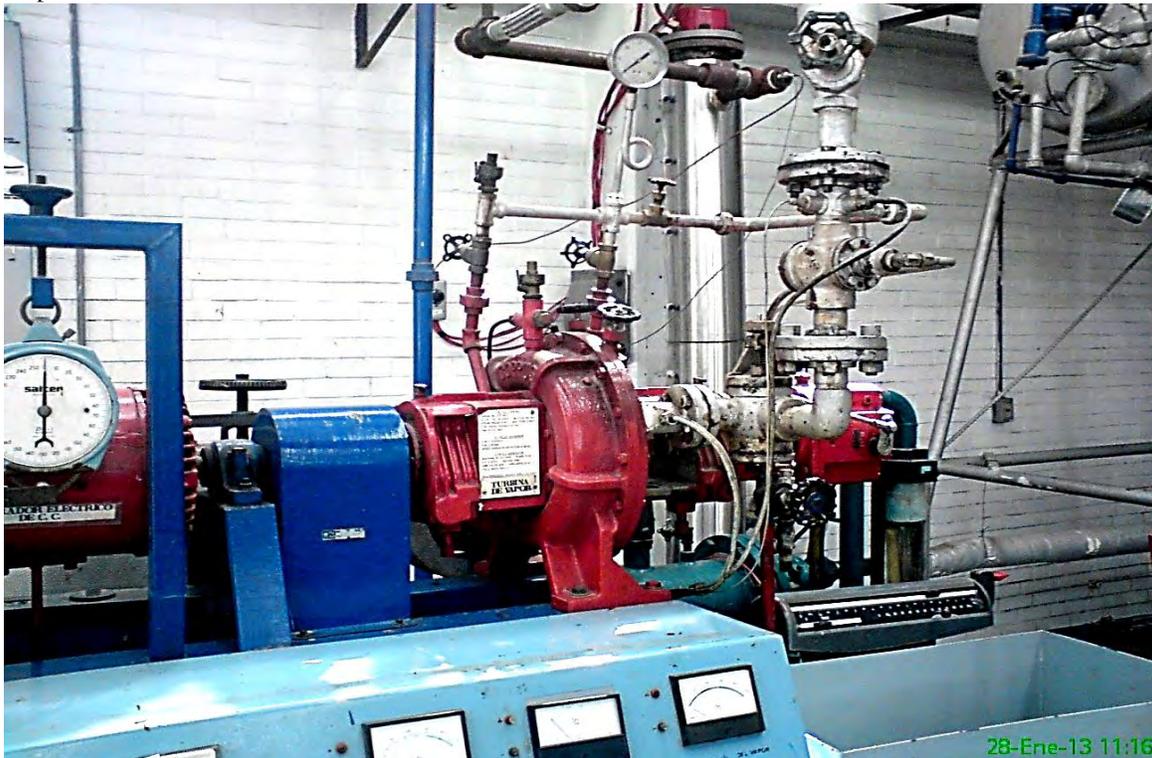


Figura 1.1.6. Turbina COPPUS

Proceso 3-4 Transformación de calor en trabajo mecánico en la turbina. El vapor se expande dentro de la turbina desde una alta presión hasta la presión atmosférica, o si hay una bomba de vacío a una presión todavía menor que la atmosférica, en el ciclo ideal se considera que las moléculas del vapor se expanden de forma Isentrópica, es decir de forma ordenada y a entropía constante, pero en el ciclo real debido a las irreversibilidades en diversos componentes como la fricción del fluido y las pérdidas de calor provocan variaciones de entropía entre la entrada y la salida, ya que las moléculas se expanden

de forma desordenada y entrópicamente, provocando la disminución en el trabajo entregado por la turbina.

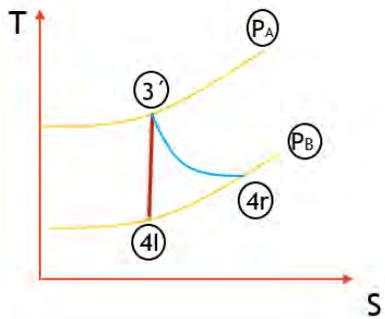


Figura 1.1.7 Expansión real e ideal

(1.1.8)

$$\eta_{Efic\ isentropica} = \frac{W_{real}}{W_{ideal}} (100)$$

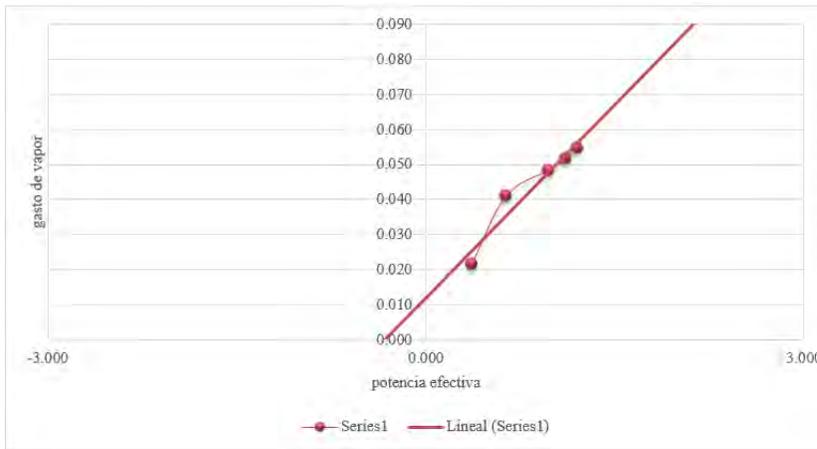
$$\eta_{Efic. Isentropica} = \frac{h_{3'} - h_{4R}}{h_{3'} - h_{4I}} (100)$$

La eficiencia Isentrópica en la turbina es la relación entre el trabajo real entregado por la turbina y el trabajo teórico ideal, multiplicados por 100, h_{4R} es la entalpía real del vapor a la salida de la turbina la cual contiene más energía y entropía que la entalpía ideal h_{4I} .

Línea Willans. Es una característica de la máquina de vapor y representa el consumo de vapor contra la salida de potencia a velocidad constante.

$$W_{pot\ efec\ turbina} = T\omega \quad [Watts] \quad (1.1.9)$$

$$W_{pot\ Freno} = \frac{0.165 \frac{2\pi}{60} (N)(F)}{1000} \quad [KWatts] \quad (1.1.10)$$



$W_{pot\ Freno}$ Esta es la potencia efectiva que genera la turbina, ω es la velocidad angular de la turbina, N es el número de revoluciones por minuto de la turbina, T es el torque entregado por la turbina y F es la Fuerza entregada por la turbina.

Figura 1.1.8. Línea Willans, flujo vs potencia

Para poder obtener la línea Willans es necesario medir las revoluciones por minuto y la fuerza que ejerce la turbina. Debido a que la turbina esta acoplada al generador eléctrico, se pueden medir las rpm del generador que serán las mismas de la turbina, y de igual forma medir la fuerza que entrega el generador nos permite conocer la fuerza ejercida por la turbina, la potencia eléctrica del generador es el voltaje por la intensidad de corriente eléctrica que entrega el generador, así mismo se puede decir que la potencia de la turbina y la potencia del generador prácticamente son las mismas despreciando las pérdidas, de esta relación se podría conocer el voltaje y la intensidad de corriente del generador.

$$W_{pot\ Electrica} = VI$$

$$W_{pot\ Electrica} = W_{pot\ Turbina} \quad VI = T\omega \quad (1.1.11)$$

El teorema de Carnot puede enunciarse como sigue, “ninguna maquina térmica real que opera entre dos depósitos térmicos puede ser más eficiente que una máquina de Carnot operando entre los mismos depósitos”, las maquinas térmicas son menos eficientes que la máquina de Carnot debido a circunstancias del entorno como la fricción y las pérdidas de calor, la eficiencia de Carnot se calcula con una unidad menos el cociente de la Temperatura del depósito de baja temperatura y la Temperatura del Depósito de alta temperatura, en este caso tomaríamos la Temperatura a la entrada de la Turbina y la temperatura a la salida de la turbina.

$$\eta_{Efic\ Carnot} = 1 - \frac{T_B}{T_A} = 1 - \frac{T_{3'}}{T_1} \quad (1.1.12)$$

La potencia entalpica se calcula con la diferencia de entalpias a la entrada y a la salida de la Turbina multiplicados por el flujo de vapor o gasto másico.

$$\dot{W}_{pot\ Entalpica} = \dot{m}_v(h_4 - h_{3'}) \quad (1.1.13)$$

La eficiencia térmica de la turbina se puede calcular dividiendo el trabajo entregado por la turbina entre el calor suministrado a la turbina proveniente del foco caliente.

$$\eta_{Efic\ Termica\ Turbina} = \frac{W_{turbina}}{Q_{suministrado}} = \frac{h_{3'} - h_{4R}}{Q_3} \quad (1.1.14)$$

La eficiencia térmica del ciclo se puede calcular dividiendo la potencia al freno entre la diferencia de entalpia a la salida de la turbina y a la salida del condensador multiplicada por el flujo de vapor.

$$\eta_{Efic\ Termica\ Ciclo} = \frac{\dot{W}_{pot\ Freno}}{\dot{m}_v(h_4 - h_1)} \quad (1.1.15)$$

La eficiencia Mecánica de la turbina se puede calcular dividiendo la potencia al freno entre la diferencia de entalpias de la entrada de la turbina y la entalpia real a la salida de la turbina multiplicada por el flujo de vapor.

$$\eta_{Efic\ Mecanica} = \frac{\dot{W}_{pot\ Freno}}{\dot{m}_v(h_{3'} - h_{4R})} \quad (1.1.16)$$

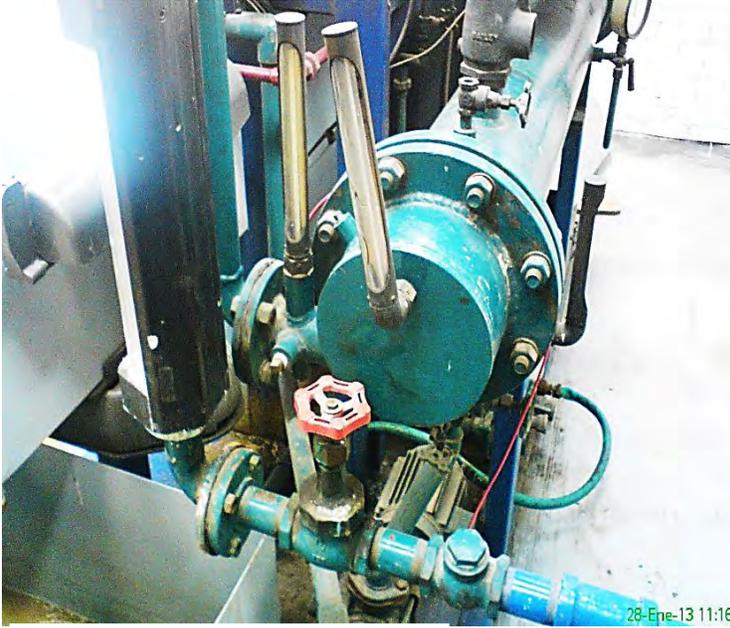


Figura 1.1.9 Condensador

El Condensador retira el calor del fluido que sale de la turbina para condensar el vapor en agua líquida, en este proceso no se realiza trabajo, por lo que el calor extraído depende de la diferencia de entalpías del fluido a la entrada y salida del condensador.

$$(1.1.17) \quad Q_{\text{Condensador}} = \Delta H$$

$$Q_{\text{Cond}} = m_a(h_1 - h_4)$$

$Q_{\text{Condensador}}$ Es el calor extraído del fluido para el cambio de fase, h_1 es la entalpía del agua a la salida del condensador, h_4 es la entalpía del vapor a la entrada del condensador.

Proceso 4-I rechazo de calor isobárica en el condensador.

Finalmente se tiene otro cambio de fase a presión constante esta vez es condensar el vapor a su fase líquida, suministrando un flujo de agua de enfriamiento a baja temperatura que entra en contacto con el flujo de vapor y debido a la diferencia de temperaturas hay una transferencia de energía, el vapor cede calor hasta llegar a líquido.

Propiedades del vapor y postulado de estado. El estado Termodinámico es completamente definido conociendo dos de sus propiedades como son la presión o la temperatura, siempre y cuando estas sean independientes entre sí. Para conocer las entalpías de los estados del ciclo necesitamos medir las presiones y temperaturas, podemos buscar las entalpías en el diagrama de moliere de las propiedades del agua, de aquí se pueden obtener todas sus propiedades, entalpías, entropías, energía interna y volumen específico.

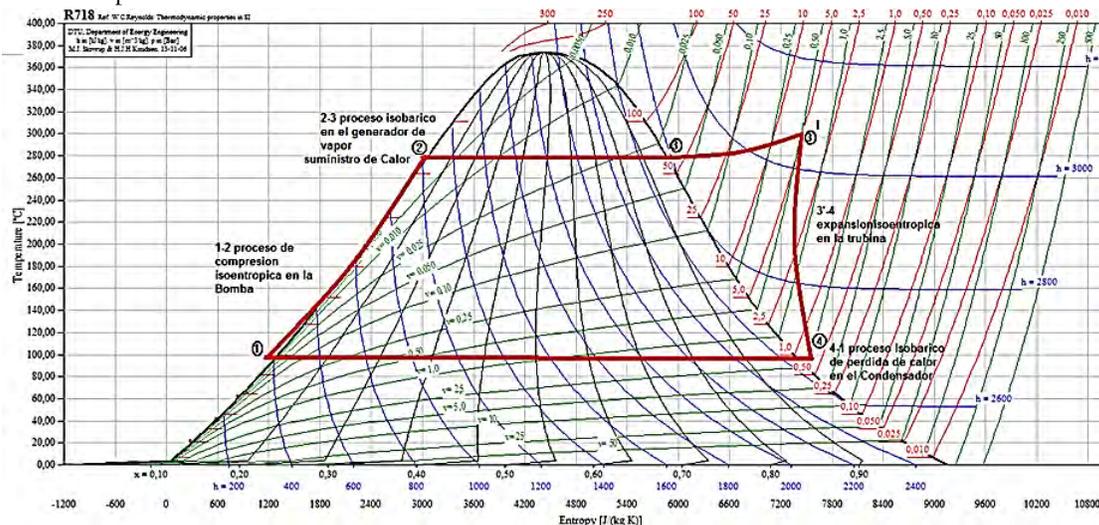


Figura 1.1.10 Diagrama de Mollier. (IPU, DTU Cool Pack, 2000)

1.2. Sistema de Adquisición de Datos

La primera propuesta de un Sistema de Adquisición de Datos fue presentada por Santiago Adán Nicolás en su tesis de licenciatura [1], su proyecto fue el inicio de una serie de implementaciones que a futuro, alumnos continuarían generando nuevos sistemas. Su interfaz permite adquirir temperaturas y monitorear el ciclo únicamente en una PC, así como generar un reporte en un archivo de Excel.

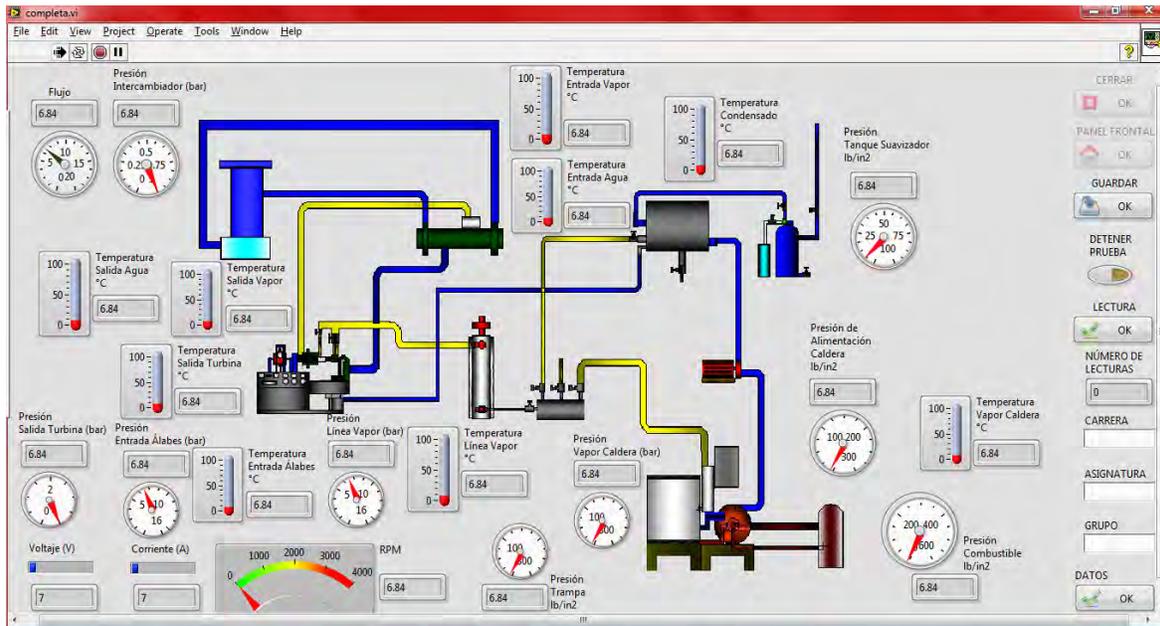


Figura 1.2.1 interfaz ciclo Rankine. [1]

Para poder monitorear el ciclo Rankine se utilizó una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments NI 9219, con la cual únicamente se recolectaron señales provenientes de sensores de temperatura, para poder visualizar estas señales se diseñó una interfaz en el software LabVIEW.

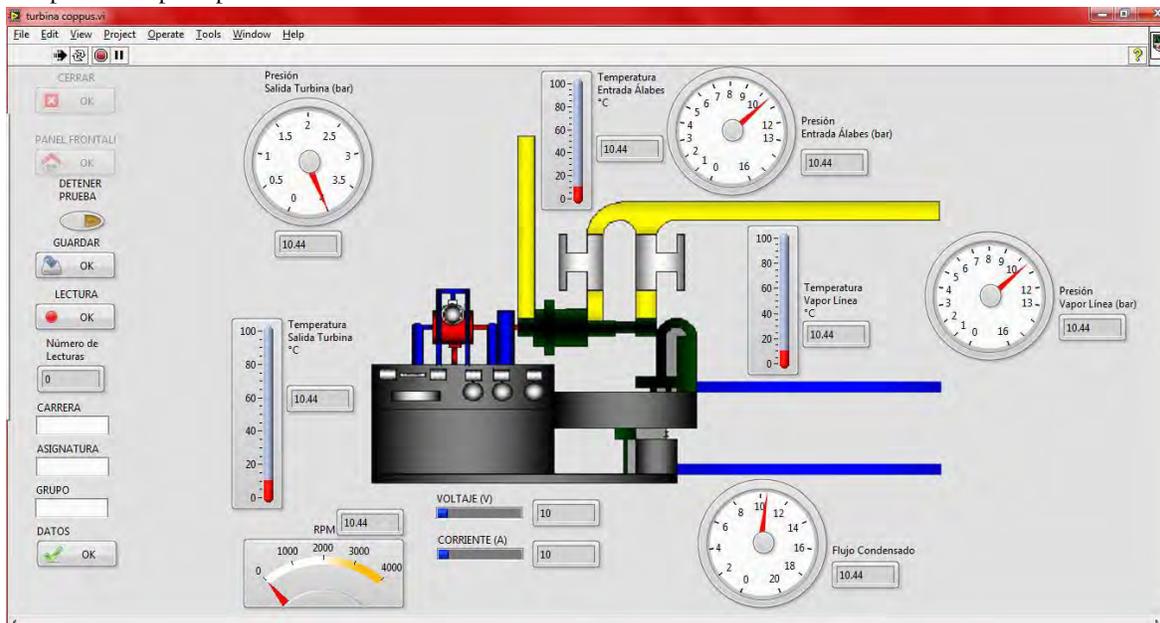


Figura 1.2.2 Interfaz turbina COPPUS. [1]

1.3. Diseño de una Servovalvula

Para poder regular el flujo de vapor en la turbina COPPUS fue necesario Diseñar y fabricar una servovalvula, esta solución fue presentada por Rogelio Alberto Velázquez Garibay en su tesis de licenciatura [2]. De esta forma continúa mejorando la infraestructura del laboratorio.



Figura 1.3.1 Servovalvula montada en la Turbina COPPUS. [2]

Este dispositivo cuenta con un motor y un Encoder que permite lecturas de su posición y sentido de giro, siendo de esta manera, factible poder controlar este dispositivo mediante una tarjeta electrónica y mandar señales de accionamiento desde alguna computadora.

El objetivo de este mecanismo es regular el flujo de vapor para mantener constantes las rpm de la turbina y el generador. De igual forma en la tesis de licenciatura de Cesar Millán Rosas [3], se diseñó y fabricó la tarjeta Electrónica de Control para 4 servoválvulas de la Turbina COPPUS que aplicando la teoría de control permite regular el flujo en la turbina y manipular las servoválvulas.

1.4. Instrumentación Virtual

La Instrumentación Virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments en el año de 1983, Truchard y Kodosky decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar la computadora personal (PC) como un instrumento para realizar mediciones, de esta manera surge el concepto de un instrumento Virtual. [4]

Un Instrumento Virtual (VI), es un software que se comporta como un instrumento real para medir variables físicas, adquirir datos de transductores, visualizar y transmitir información.

Un Instrumento Virtual, consiste en dos partes: Software y Hardware, principalmente están basados en software y son definidos por el usuario, mientras que los instrumentos tradicionales son de funcionalidad fija. [5]



Figura 1.4.1. Instrumentos Tradicionales. (VION, s.f.)

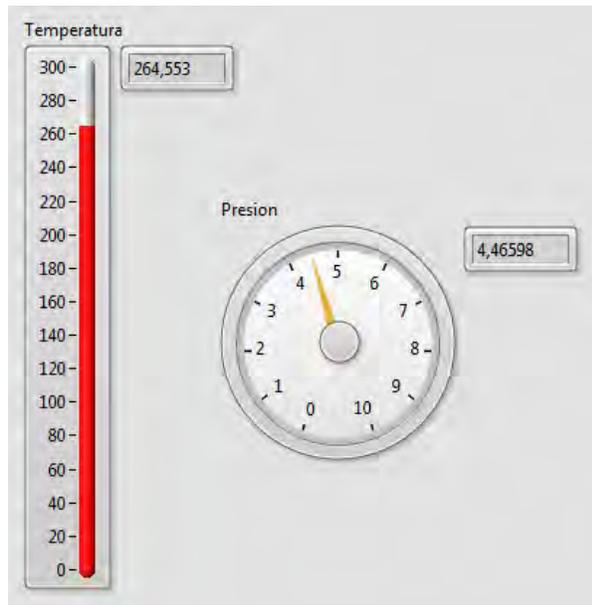


Figura 1.4.2. Instrumentos Virtuales

Se define la Instrumentación Virtual como un sistema de medición, análisis y control de señales físicas con un PC por medio de Instrumentos Virtuales.

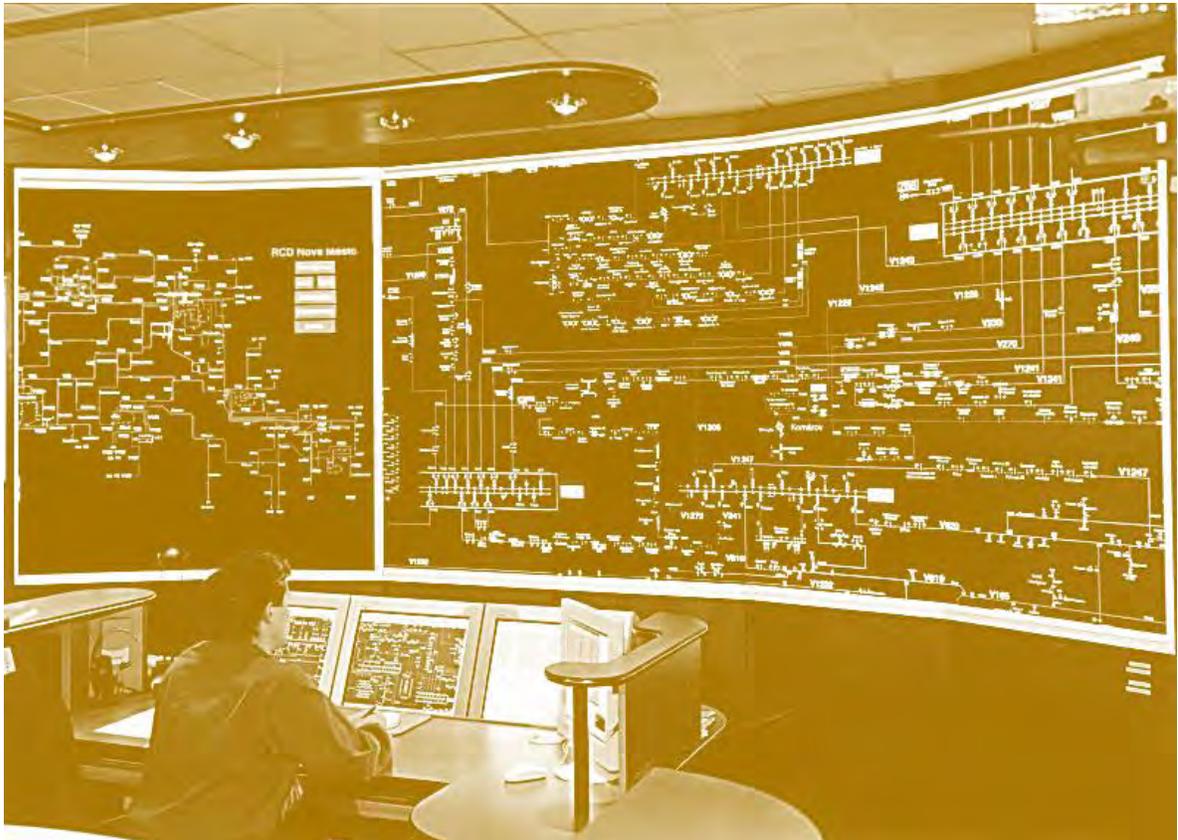


Figura 1.4.3. Tarjetas de Adquisición de Datos. [5] (National Instruments)

Actualizar los Instrumentos originales fijos del Ciclo Rankine por Instrumentos Virtuales, es una manera de innovar en la infraestructura y en la metodología con la que se dan las prácticas del laboratorio de máquinas térmicas.

Un Instrumento Virtual necesita de un Hardware de Adquisición de Datos para procesar las señales del entorno físico, son conocidas como tarjetas de adquisición de datos DAQ.

2. Levantamiento



“Cuando alguien de verdad necesita algo lo encuentra, no es la casualidad quien se lo procura, sino el mismo. Su propio deseo y su propia Necesidad le conducen a ello.”

([Hermann Hesse.](#))

2.1. Identificación de la Necesidad

Las Plantas Termoeléctricas actualmente producen la mayor parte de la energía eléctrica utilizada en México, de esta manera el Ingeniero Mecánico es indispensable y requerido en el sector energético, y surge la necesidad de las Universidades en capacitar ingenieros con sólidos conocimientos en Diseño de sistemas térmicos, operación de máquinas térmicas y además conocimientos en nuevas tecnologías existentes en la industria como los sistemas de Supervisión y Control.



Figura 2.1.1 Turbina de Vapor Industrial. (TGM,s.f.)



Figura 2.1.2 Planta Termoeléctrica. (CFE 2014)

Las Plantas Termoeléctricas basan su funcionamiento en el Ciclo Rankine, realizando la conversión de energía térmica a trabajo Mecánico mediante una turbina de vapor, las plantas industriales cuentan con Sistemas de Supervisión y Control que proporcionan información del proceso a los operadores y garantizan la seguridad física de los usuarios por que reducen y limitan la operación directa con los equipos peligrosos que podrían provocarles daños durante la operación de la turbina de vapor.



Figura 2.1.3 Sistema de Supervisión y Control Automáticos

Los laboratorios de termoenergía de muchas Universidades no cuentan con tecnologías de supervisión y control debido a los altos costos, y los egresados tienen problemas al enfrentarse en la industria a tecnologías que nunca han manejado.

El laboratorio de Maquinas Térmicas de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM cuenta con equipo para realizar las prácticas relacionadas con la generación de energía eléctrica por medio de un Ciclo Rankine.

Los alumnos generalmente se acercan a las máquinas y tienen que realizar mediciones de los instrumentos directamente en termómetros de mercurio, instrumentos de aguja, tacómetros, voltímetros y amperímetros, esto implica un gran riesgo debido a las altas temperaturas en las que opera el equipo, se manejan altas presiones de vapor, la turbina gira a más de 3500 RPM y el generador entrega más de 10 Amperes. Por estas razones es bastante riesgoso tener a alumnos muy cerca operando estas máquinas.

De igual manera el excedente de alumnos inscritos por materia es entre 35 y 40, superan la cantidad recomendada de alumnos que deben estar en el laboratorio haciendo la práctica, por lo que no todos pueden aprovechar al 100 por ciento el desarrollo de la misma. Además los alumnos y profesores manipulan las válvulas de la turbina manualmente corriendo el riesgo de sufrir quemaduras al estar en contacto directamente con la turbina que está demasiado caliente.

Por lo que surge la necesidad de desarrollar un Instrumento Virtual para supervisar a distancia las temperaturas, presiones, rpm y demás variables que intervienen en la práctica en varias computadoras y a través de internet, ya sea en un salón del laboratorio a una distancia segura o alejada de las máquinas en operación, para garantizar la seguridad de los alumnos y el mejor aprovechamiento de la misma, además de poder manipular a distancia una servoválvula para regular el flujo de vapor, y de esta manera actualizar los equipos de instrumentación y monitoreo con los que cuenta el ciclo Rankine.

2.2. Planteamiento del Problema

La principal limitación por la cual no se han satisfecho las necesidades mencionadas anteriormente se debe a los altos costos que tienen en el mercado los equipos necesarios y la carencia de instrumentos que tengan una escala y visualización adecuada para realizar demostraciones a nivel académico de manera clara y comprensible.

Los instrumentos convencionales, tienen funcionalidad fija por lo cual solamente están diseñados para una sola función y no pueden ser modificados por el usuario o utilizados para otra aplicación como poder transmitir datos remotamente. De igual manera no hay un método completamente eficaz para transmitir las prácticas a distancia donde se logre apreciar todos los instrumentos al mismo tiempo y pueda existir una interacción clara y comprensible del alumno con ellos.

La falta de tecnologías de Supervisión remota y Control en laboratorio de máquinas térmicas, afecta a los alumnos causando problemas a los egresados al enfrentarse a tecnologías que nunca han manejado, ya que en la industria se cuenta con numerosas tecnologías SCADA.

2.3. Propuesta de Solución

La solución a los problemas mencionados anteriormente es desarrollar Instrumentos Virtuales en la Turbina COPPUS para supervisar a una distancia segura la evolución de las variables térmicas, presiones y rpm que intervienen en la práctica, estos instrumentos pueden ser visualizados en una interfaz en la computadora de manera comprensible y dando posibilidad a un monitoreo de datos a distancia a través de internet, permitiendo una supervisión remota y eficaz del ciclo Rankine, también se puede visualizar la interfaz con dispositivos móviles portátiles como tablets, iPad, celulares etc.

La interfaz permitiría monitorear remotamente, temperaturas, presiones, revoluciones por minuto de la turbina y el generador, la fuerza ejercida por la turbina y potencia. Además de poder manipular una servoválvula desde esta interfaz para evitar quemaduras a los operadores del ciclo, esta interfaz debe ser compatible con la servoválvula y su tarjeta de control.

Al desarrollar un Sistema de Supervisión a Distancia en esta planta de vapor, mejoramos posibilidades de impartir practicas a distancia con otras Facultades, Escuelas o Universidades carentes de equipos como turbinas de vapor, calderas y sistemas de Automatización industrial, la interfaz permite visualizar a través de internet los instrumentos virtuales de las temperaturas, presiones, rpm y cargas, estas variables son visualizadas de manera clara en una interfaz supervisada remotamente desde otra Escuela.

2.4. Estado del Arte

2.4.1. SCADA

SCADA por sus siglas en ingles **S**upervisory **C**ontrol and **D**ata **A**dquisition, significa Supervisión, Control y Adquisición de Datos , es una aplicación software de control que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador o PC.[6]



Figura 2.4.1.1 Sistema SCADA

Proporciona información del proceso a diversos usuarios: operadores, supervisores de control de calidad, mantenimiento, etc. Las tareas automatizadas de control y visualización se pueden realizar con sistemas de control basadas en PC [6], y utilizando tarjetas de Adquisición de Datos.



Figura 2.4.1.2 Interfaz entre usuario y planta

Los sistemas de interfaz entre usuarios y planta basados en paneles de control repletos de indicadores luminosos, instrumentos de medida y pulsadores, están siendo sustituidos por sistemas digitales que implementan el panel en la pantalla de un ordenador de computadora. [6]

Un sistema SCADA cuenta con dispositivos de campo los cuales son Sensores y Actuadores, los sensores adquieren las señales del entorno y son procesadas por un Hardware de Adquisición de Datos que acondiciona la señal de entrada y la convierte para que pueda ser leída por un procesador digital, que despliega estos datos en una interfaz con el usuario a través de un panel de control, el usuario puede manipular los actuadores mandando una señal desde el panel de control procesada por el mismo hardware digital y mandada al actuador.

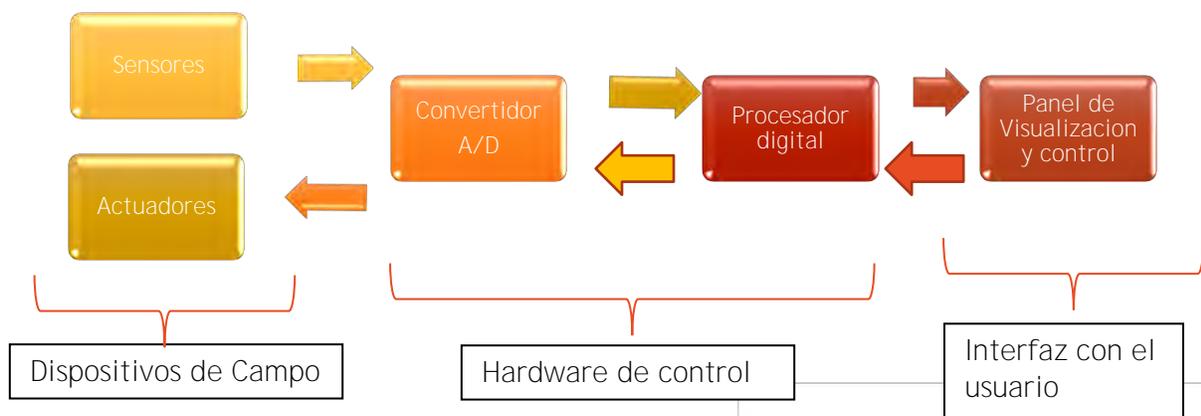


Figura 2.4.1.3 Elementos de un sistema SCADA

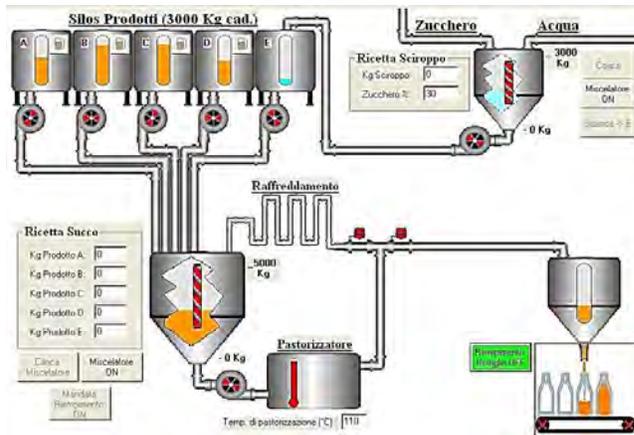


Figura 2.4.1.4 interfaz de Supervisión. (DAIMEC, s.f.)

La interfaz proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta, el proceso se representa mediante sinótipos gráficos. [6]

Mediante la interfaz es posible la supervisión de variables físicas y además se puede intervenir y controlar el proceso.

Recolecta datos de manera automática de todos los sensores y controladores involucrados en un proceso industrial.

Estos sistemas permiten supervisar y controlar procesos industriales a distancia.

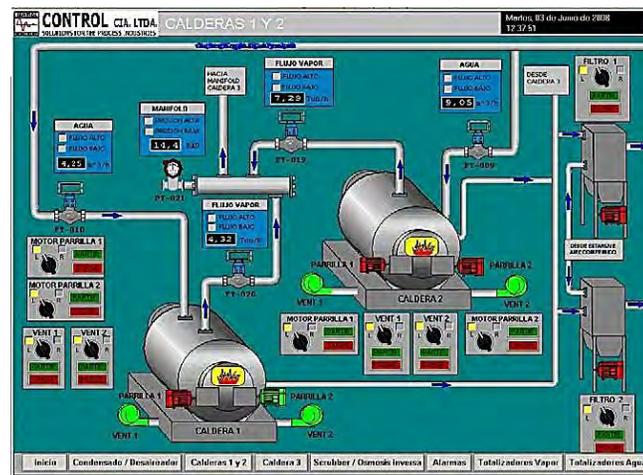


Figura 2.4.1.5 Panel de Control de un SCADA. (ControlSPI, s.f.)

2.4.2. Protocolos de comunicación en red

La supervisión a distancia es posible por el uso de redes de comunicación entre sistemas, las redes son utilizadas para interconectar diferentes dispositivos y comunicarlos, existen diferentes protocolos de comunicación como MODBUS o PROFIBUS que permiten construir una ruta de transmisión de datos con procedimientos comunes para transferir información.

Un protocolo es un conjunto de reglas establecidas entre dos dispositivos para poder establecer un servicio de comunicación, una red de comunicación consiste de una o más subredes interconectadas con protocolos similares o diferentes.

El Bus de campo constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales [6]. Los buses de campo permiten la comunicación de Sensores y Actuadores, en el segundo nivel del bus de campo se encuentra el hardware o controlador que puede ser un PLC o una Tarjeta de Adquisición de Datos, en el tercer y cuarto nivel se encuentra la red de supervisión del proceso, los servidores y ordenadores donde se visualiza el proceso trabajan en una Red de Área Local LAN permitiendo supervisar el proceso a una distancia a la redonda de máximo 5km.

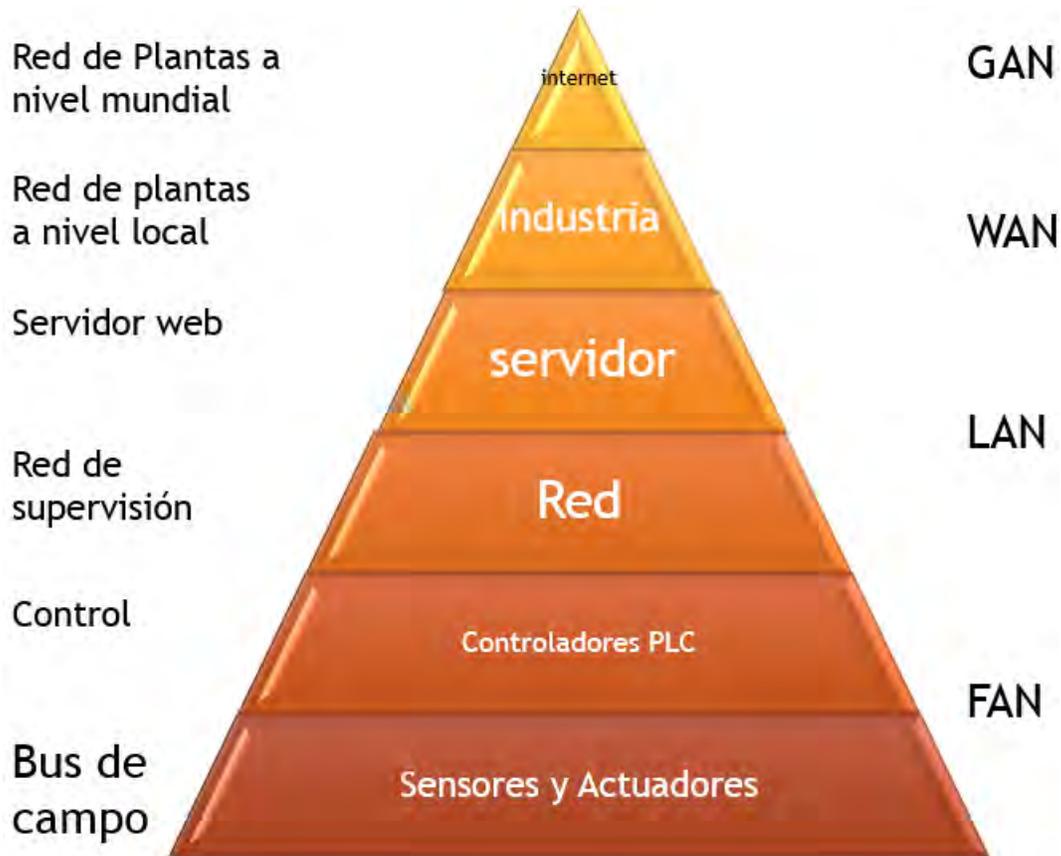


Figura 2.4.2.1 jerarquías en un sistema SCADA

El quinto nivel maneja una red WAN integra los niveles anteriores en una estructura de fabrica o multiples plantas, esta formado por ordenadores y redes de ordenadores[6], el ultimo nivel es GAN es una red Global atravez de internet donde se interconectan diferentes fabrcas y plantas en diferentes ciudades y localidades.

Entonces la Tecnologia para la supervision a distancia depende de los protocolos de red LAN,WAN y GAN e internet.

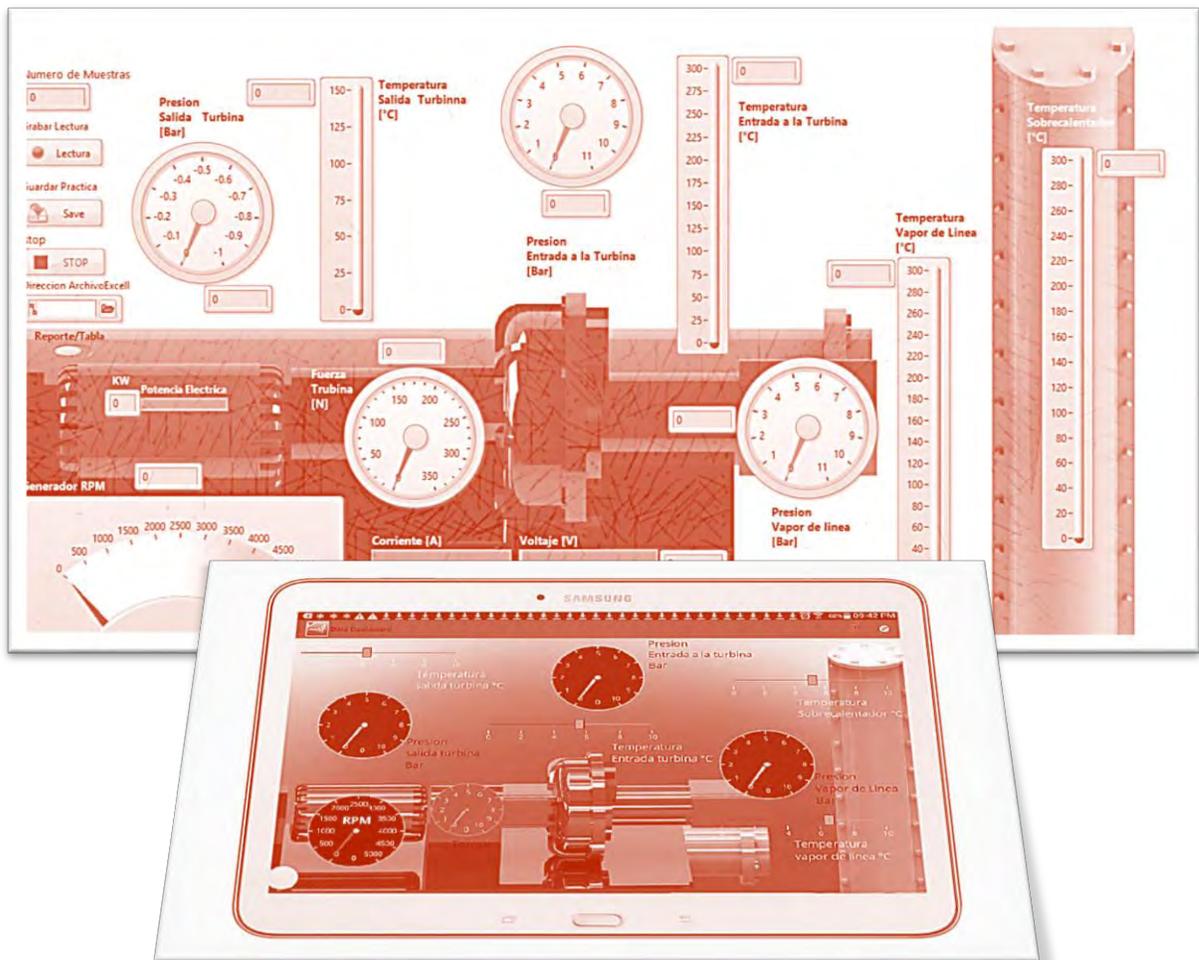
2.5. Requerimientos

A continuación se enlistan los requerimientos deseados por el usuario.

Requerimientos	
Interfaz con el usuario	Poder visualizar en una PC las Temperaturas de entrada y salida de la turbina, Presiones de entrada y salida de la turbina, revoluciones por minuto del generador y turbina, y la fuerza ejercida por el generador y turbina.
Adquisición de datos	Que se puedan capturar datos del proceso como temperaturas, presiones, rpm y fuerza al apretar un botón
Generación de reportes	Que se puedan exportar los datos capturados en un reporte de Excel
Calculo de propiedades	Que se puedan exportar los datos capturados a una tabla de cálculo de propiedades de vapor como entalpias.
Supervisión a distancia	Que la interfaz pueda ser visualizada en otras computadoras a una distancia segura de la planta como en un salón.
Visualización a distancia en dispositivos móviles	Que se pueda visualizar la interfaz también en dispositivos móviles portátiles, como tablets
Compatibilidad con Hardware de control para servoválvula	Que la interfaz sea compatible con la tarjeta de control de la servoválvula, teniendo indicadores y controles para recibir señales y enviar algunas variables
Retroalimentación con Hardware de Control	La interfaz pueda enviar la medición de las rpm de la turbina y el generador a la tarjeta controladora
Seguridad	En caso de que surja una situación de peligro la interfaz mandara a la tarjeta controladora una alarma para realizar las correcciones pertinentes

Tabla 2.5.1 Requerimientos

3. Diseño Conceptual



“Todo nuestro conocimiento tiene su principio en los sentimientos.”

([Leonardo Da Vinci](#).)

3.1 Diseño y metodología en Instrumentación Virtual.

La Mecatrónica integra en el diseño diferentes áreas como la Mecánica, la Electrónica y el Control, con el propósito de Diseñar dispositivos y sistemas más autónomos y tener un proyecto mucho más completo, considerando en el diseño de un instrumento virtual todos los aspectos que involucran sensores, hardware y software.

En Ingeniería Mecánica el Diseño se podría definir como un proceso para desarrollar Dispositivos, Sistemas, Ciclos, Mecanismos y Elementos que solucionen las necesidades humanas, cumpliendo con los requerimientos y especificaciones determinadas, aplicando el conocimiento que permita la realización de las funciones necesarias. La metodología usada en este trabajo está basada en el proceso de Diseño de Pahl y Beitz pero aplicada a un proyecto de Instrumentación Virtual

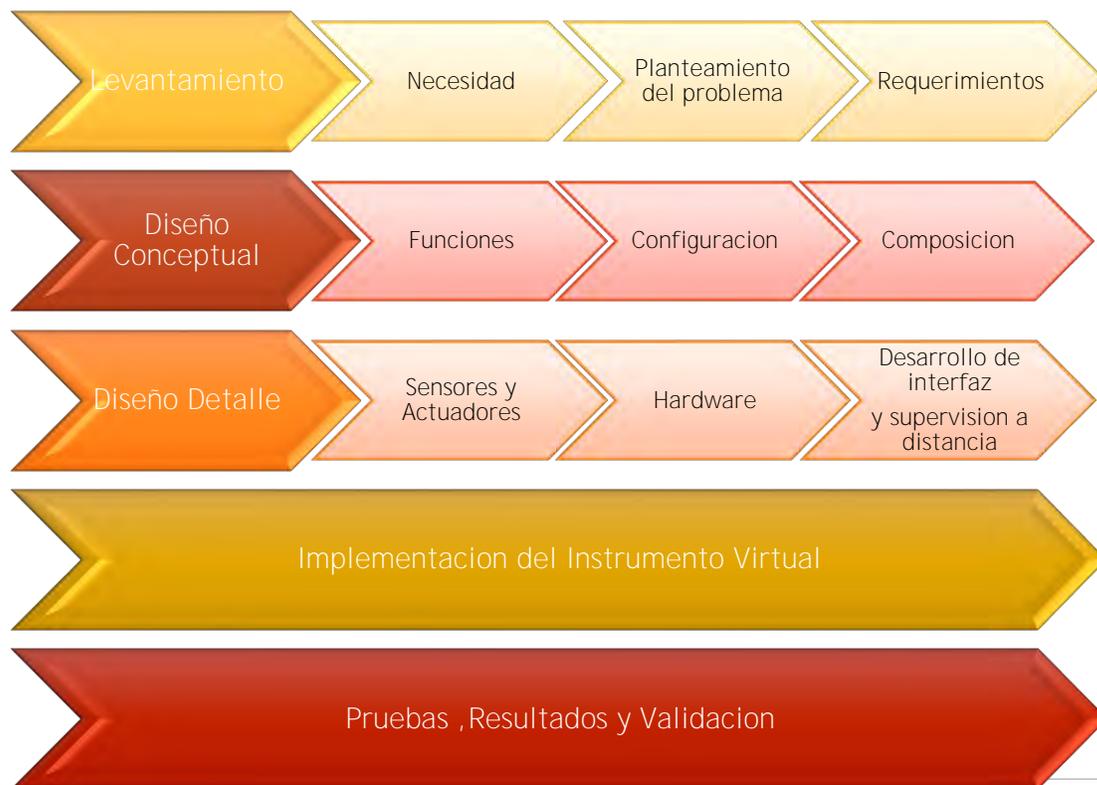


Figura 3.1.1 Metodología.

En un sistema de medición e Instrumentación es importante definir las variables físicas que se pretenden conocer, como Temperatura y Presión, así como seleccionar los sensores y transductores más apropiados para adquirir información y cuantificar estas variables, estas señales que envían los sensores deben pasar por una etapa de acondicionamiento la cual corresponde a amplificar o atenuar la amplitud de la señal, así como filtrar y modular el comportamiento de la señal para quitar ruido y poder adquirir datos más concordantes con las variables reales. Estas señales son señales analógicas las cuales para poder ser procesadas por un controlador digital debe de haber una etapa de conversión analógica-Digital, una vez convertidas estas señales se envían al procesador del Hardware de Adquisición de Datos.



Figura 3.1.2 Elementos de un Sistema de Medición e Instrumentación Virtual.

El software es el conjunto de instrucciones y algoritmos que permite manipular las señales adquiridas y realizar las tareas y funciones establecidas por el usuario. La integración del Software y Hardware permite el desarrollo de Instrumentos Virtuales los cuales permiten medir estas variables físicas y visualizar en una computadora la evolución de un proceso.

3.2 Funciones de la Interfaz.

Se analizaron las funciones requeridas por el usuario, que debe realizar el sistema.

Funciones	
Principales	<ul style="list-style-type: none">• Medir y visualizar Variables Físicas• Transmitir Datos a través de la red
Secundarias	<ul style="list-style-type: none">• Registrar datos del proceso• Enviar datos a archivos Excel
Terciarias	<ul style="list-style-type: none">• Comunicación con tarjeta de Control de Servo válvula• Enviar datos a dicha tarjeta de control• Enviar Alarmas• Recepción de Datos

Tabla 3.2.1 Funciones Principales, Secundarias y Terciarias.

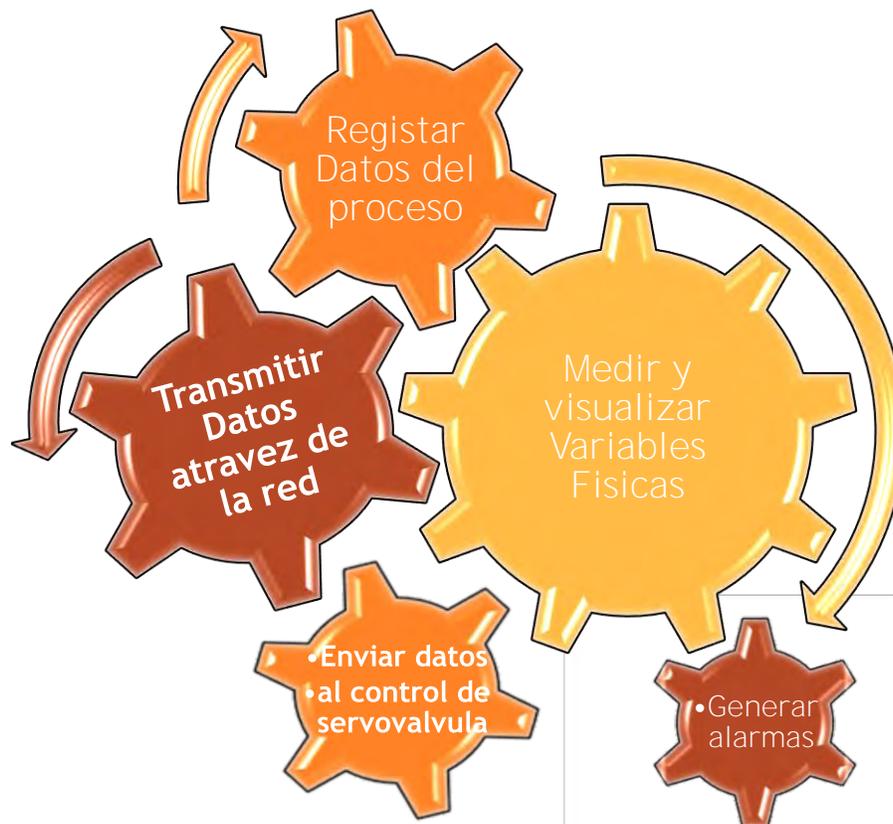


Figura 3.2.1 Diagrama de Funciones.

3.3 Configuración del sistema de Medición.

3.3.1 Sensores.

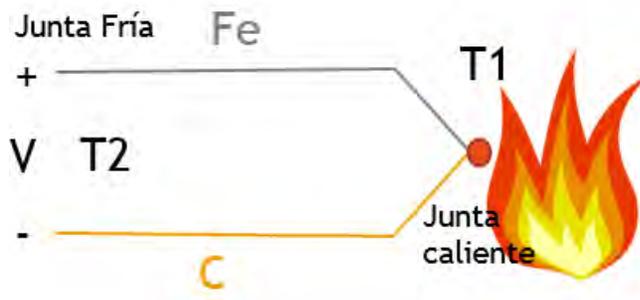
Un **Sensor** es un dispositivo basado en el uso de un transductor que permite conocer la magnitud de una variable física, obtienen información del entorno y adquieren datos de una planta o proceso.

Un **Transductor** es un dispositivo que permite transformar un tipo de energía en otro, convierten una variable física en una señal eléctrica.

Temperatura

La temperatura es una propiedad intensiva de un sistema termodinámico que mide la energía cinética promedio molecular. La temperatura está relacionada con el movimiento de las moléculas estas pueden girar o vibrar y hasta trasladarse.

Uno de los sensores más comúnmente usado en la industria para medir temperatura es el termopar, un



Termopar capta la magnitud de la temperatura en función de la diferencia de potencial de sus uniones inducida por un efecto térmico, es un circuito formado por la unión de dos alambres de diferentes metales, con dos juntas a diferentes temperaturas cada una, si la temperatura de ambas uniones es diferente se genera una diferencia de potencial.

Figura 3.3.1.1 Principio del Termopar.

Se produce una conversión de energía térmica a energía eléctrica, la diferencia de potencial depende del material de los dos metales utilizados y de las temperaturas de ambas uniones.

El funcionamiento de un Termopar está basado en el **efecto Seebeck** el cual explica que de la misma manera que una corriente al circular por la unión de dos metales diferentes produce una liberación de calor, de igual forma la unión de dos metales al absorber calor produce una corriente eléctrica proporcional a la temperatura.

El calentamiento de la junta de medición provoca un movimiento de electrones, aproximadamente proporcional al movimiento promedio molecular

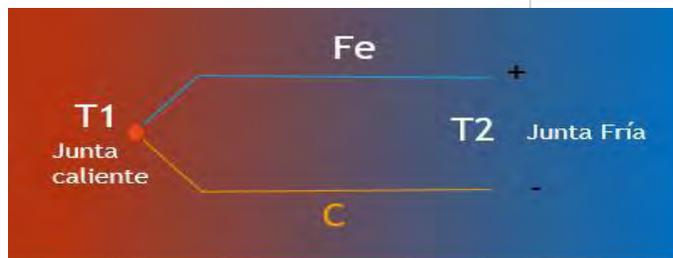


Figura 3.3.1.2 Funcionamiento del Termopar.

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} (\mu V / ^\circ C) \quad (3.3.1.1)$$

Coeficiente de Seebeck	
tipo	S($\mu V / ^\circ C$)
S	6.02
R	5.93
B	0.05
E	60.93
J	51.71
K	40.46
T	40.69

Tabla 3.3.1.1 .Coeficientes de Seebeck. [7]

α Es el coeficiente de seebeck que establece la relación entre la diferencia de potencial y el incremento de Temperatura, está dado en micro volts por grado Celsius, este coeficiente depende del tipo de termopar, hay varios tipos de termopares J, K, R, E, etc., dependen del material de los metales que forman las juntas, los termopares tienen un rango de temperaturas distinto y un coeficiente Seebeck distinto según el tipo de termopar.

Por ejemplo el tipo J está compuesto por la unión de dos hilos de metales distintos, un filamento de Hierro y el otro hilo es de Constantan (Cobre-Níquel), y tiene un coeficiente de Seebeck de 51.71 micro volts por grado Celsius.

El coeficiente de Seebeck varía en función del rango de operación del termopar, por lo que no es lineal la curva de salida entre temperatura y voltaje del termopar, si es mayor el rango de temperatura que se mide, el coeficiente cambiara, para el caso del tipo J a temperaturas muy altas por encima de los 500° C el coeficiente se vuelve inestable y aumenta, pero se mantiene aproximadamente estable entre 0 y 500°, por debajo del cero el coeficiente varia y disminuye.

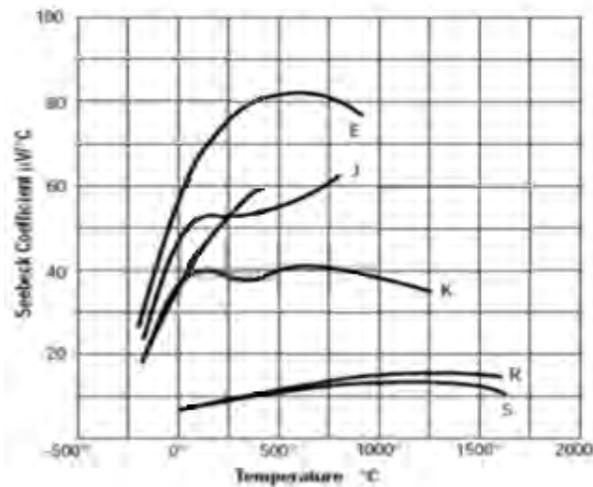


Figura 3.3.1.3 Curvas del coeficiente de Seebeck. [8]

De la relación de voltaje y temperatura de Seebeck se obtiene la siguiente expresión.

$$V = \alpha(T1 - T2) \quad (3.3.1.2)$$

$$V1 = \alpha T1, \quad V2 = \alpha T2,$$

$$\Delta V \propto \Delta T$$

$$V = V1 - V2$$

Donde T1 es la temperatura que se desea medir, se le puede considerar como la junta caliente, T2 es la temperatura de referencia puede ser Temperatura ambiente, V es la diferencia de potencial del voltaje de la junta caliente y la junta de referencia, el incremento de voltaje en el termopar depende del incremento de Temperatura.

En la siguiente tabla se muestran diferentes tipos de termopar J, S, K, R, T, etc. los metales que los componen con su correspondiente aleación y se indica a cual corresponde el positivo y el negativo, y finalmente su rango de medición.

Designación ANSI	Composición	Rango de medición
B	Platino (30%) Rodio (+) Platino (6%) Rodio(-)	28° a 1800° C
C	Tungsteno (5%) Renio(+) Tungsteno (26%) Renio(-)	0° a 2300° C
E	Cromel(+) Constantan(CU-NI)(-)	0° a 982° C
J	Hierro(+) Constantan(CU-Ni)(-)	-184° a 760° C
K	Cromel(+) Alumel(-)	-184° a 1260°C
R	Platino (13%) Rodio(+) Platino(-)	0° a 1593°C
S	Platino (10%) Rodio(+) Platino(-)	0° a 1538°C
T	Cobre(+) Constantan(CU-NI)(-)	-184° a 400°C

Tabla 3.3.1.2 Materiales que componen del Termopar y rangos de medición. [9]

Estas características son muy importantes ya que permiten seleccionar el termopar adecuado para la aplicación deseada, además los costos de termopares difieren en función del tipo de material usado en su elaboración. De esta forma el termopar que usaremos para medir la temperatura del vapor es el tipo J ya que es económico por el tipo de materiales que usa como el Hierro, y cumple con los rangos necesarios.

Presión

La Presión es una propiedad de carácter intensivo que mide el efecto causado por un conjunto de fuerzas, en forma perpendicular, sobre una superficie.

La Presión atmosférica es la presión ejercida por el peso de los gases que conforman la atmosfera sobre la superficie de la tierra. Dicha presión varía con la altitud, a mayor altitud menor presión atmosférica.

La Presión manométrica es la presión que se mide por encima de la presión atmosférica, es la presión interna que ejerce cualquier sistema, en un tanque con un gas las moléculas ejercen un conjunto de fuerzas sobre las paredes superficiales del recipiente que lo contenga, de igual manera la presión del aire en el interior de los neumáticos de un vehículo es mucho mayor que la presión atmosférica.

La Presión absoluta es la presión total o real que tiene un sistema equivale a la suma de la presión manométrica y atmosférica.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man} \quad (3.3.1.3)$$

La Presión Vacuometrica es una presión que se mide por debajo de la atmosférica por lo que se le conoce como presión de vacío, al vacío lo podemos definir como la ausencia de materia, al imaginar una esfera vacía la presión que lo rodea debida a la atmosférica aplastaría el sistema, la presión absoluta de un sistema de vacío siempre será menor a la atmosférica, cuando la presión en un sistema es menor que la presión atmosférica la presión es negativa.

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vac} \quad (3.3.1.4)$$

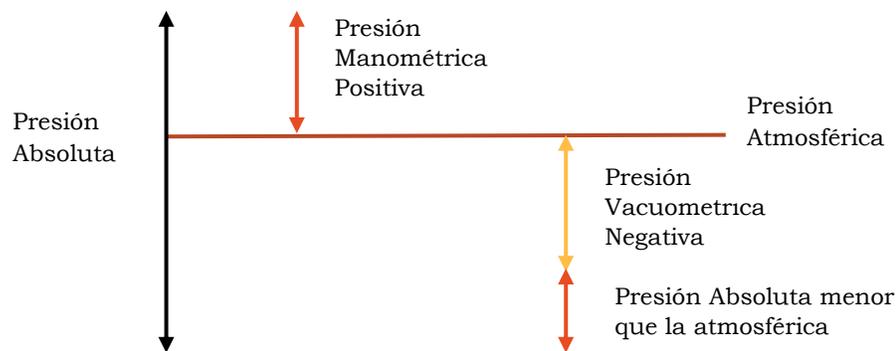


Figura 3.3.1.4 Diagrama de referencia para Medir Presiones.

Existen diferentes tipos de sensores para medir presión, se necesita un sensor que detecta la magnitud de la presión y la trasduce en una señal eléctrica de corriente o voltaje, algunos son los sensores piezoresistivos y capacitivos.

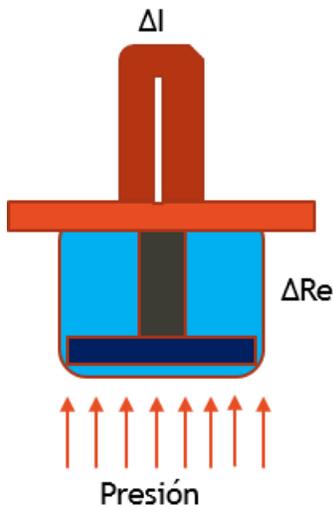


Figura 3.3.1.5 funcionamiento del Sensor piezoresistivo.

Los sensores **Piezoresistivos** detectan la magnitud de la presión aplicada a un diafragma de silicio, en función de los cambios en la resistencia eléctrica del material provocados por efecto de la presión, cuando las pastillas de silicio se someten a una tensión mecánica, este dispositivo mecánico se deforma o flexiona por estar expuesto a la presión, al ocurrir esto el material sufre cambios en sus características de resistencia específica, cuando cambia la resistencia eléctrica se provoca también una variación de cualquier corriente eléctrica que transitara a través de la pastilla, esta variación se trasduce en una medición de la presión.



Un sensor piezoresistivo utiliza semiconductores como cintas extensiométricas, las cintas semiconductoras están introducidas en la estructura de la membrana, las cintas extensiométricas y el cuerpo expuesto a la presión están compuestos de silicio, debidamente se forma un puente de Wheatstone integrando cuatro cintas extensiométricas en una cápsula de silicio. La deformación producida por la presión provoca una variación de la resistencia específica.

La resistencia de un conductor eléctrico está dada por la ecuación:

Figura 3.3.1.6 membranas de silicio para transductor. (CFSensor, s.f.)

$$(3.3.1.5) \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde ρ es la resistencia específica, L es la longitud y A la superficie de sección, según la ecuación la resistencia eléctrica varía proporcional con la resistencia específica este efecto piezoresistivo que ofrecen los semiconductores es usado en los transductores de presión Industriales.

El puente de Wheatstone consta de un arreglo de resistencia variable, de tal forma que al alimentarse con un voltaje, en condiciones de equilibrio no existe tensión de salida, las resistencias cambian con la presurización, la corriente de salida cambia en proporción al cambio de presión.

$$(3.3.1.6) \quad \frac{V}{\Delta i} = \Delta R \quad \Delta R \propto \Delta P \quad \Delta i \propto \Delta P$$

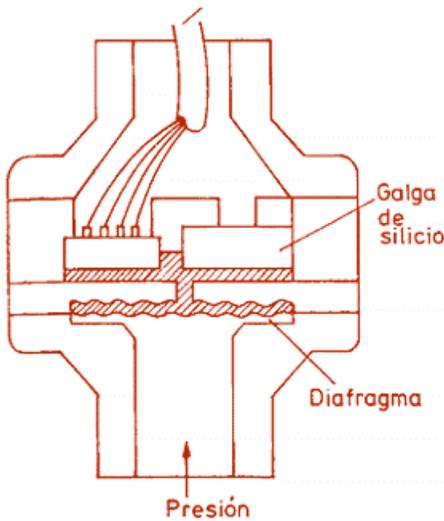


Figura 3.3.1.7 Composición del Sensor.

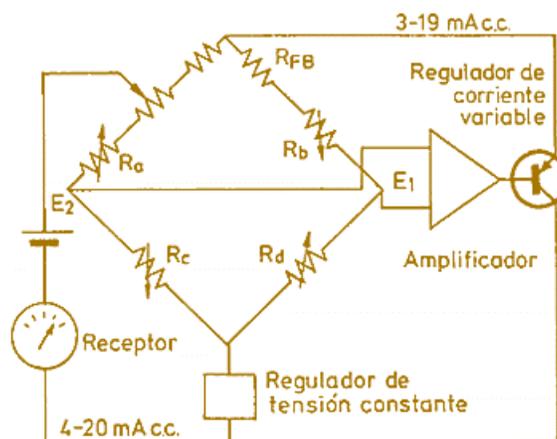


Figura 3.3.1.8 Principio de funcionamiento.

Los sensores Piezoresistivos miden hasta presiones de 16 bares, de esta forma utilizaremos sensores piezoresistivos para medir la presión del vapor.

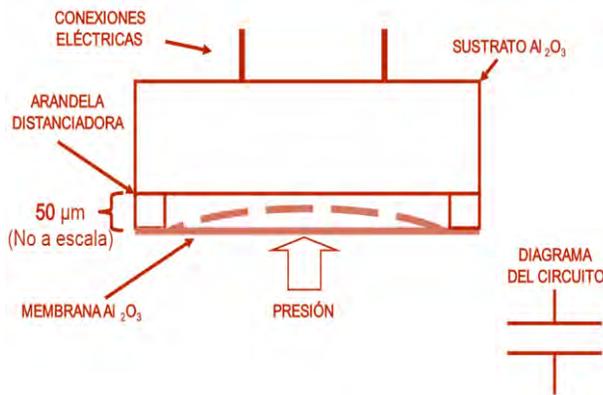
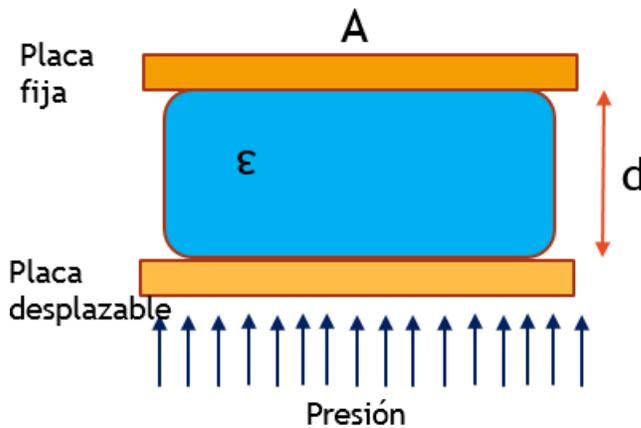


Figura 3.3.1.9 Sensor Capacitivo. (ABS Sensors s.f.)

Los sensores de presión **Capacitivos** miden la capacitancia eléctrica de un condensador, la cual se modifica en función de la aproximación de la placa móvil a la placa fija, las dos terminales del capacitor se juntan o se separan por el efecto de la presión, esta separación se traduce en una medición de la presión del medio.



La medición capacitiva se ejecuta mediante un condensador con dos placas, una placa fija y una placa móvil, en medio existe un material dieléctrico, la placa móvil se desplaza por el efecto de la presión inducida, estas placas se acerca o se aleja en función de la magnitud de la presión afectando la distancia entre ellas, cuando la distancia entre ellas varía también cambia la capacitancia del condensador.

Figura 3.3.1.10 funcionamiento del Sensor Capacitivo.

$$(3.3.1.7) \quad C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Donde C es la capacitancia del condensador, ϵ es la constante dieléctrica, A es el área efectiva de las placas y d es la distancia entre las placas, en este caso la variable en función de la presión sería la distancia entre las placas afectando la capacitancia, esta variación de capacitancia se traduce en una medición de la presión, como la variación de la carga en el tiempo es la corriente entonces la variación de la corriente es proporcional a la variación de la capacitancia y la presión.

(3.3.1.8)

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{dC}{dt} V \quad \Delta C \propto \Delta P \quad \Delta P \propto \Delta i$$

Este tipo de sensores los podemos utilizar para medir presiones de vacío por debajo de la presión atmosférica, utilizaremos sensores capacitivos para la presión de salida de la turbina donde se encuentra una bomba de vacío.

Fuerza

La **Fuerza** se define como una acción, un empujón, un tirón o una carga, es una cantidad vectorial con magnitud sentido y dirección, algunos de los efectos de la fuerza son provocar deformaciones.

El **Esfuerzo** se define como una densidad de fuerzas internas de reacción de un objeto causadas cuando se aplica una fuerza externa al objeto, el esfuerzo se produce por la tensión y compresión, los efectos de un esfuerzo son el desplazamiento y la deformación.

La **Celda de carga** es uno de los dispositivos más importantes utilizados en la industria para la medición de fuerza, ya que se encarga convertir la fuerza en una variación de voltaje, la celda de carga analógica funciona con galgas extensiométricas Strain Gages.

Las **galgas extensiométricas** Strain Gages son sensores basados en el efecto piezoresistivo, un esfuerzo que deforma la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica, este dispositivo es uno de los más importantes en la industria de las mediciones de magnitudes mecánicas, consiste en la deformación por la tensión y compresión, los cuales se diferencian por un signo positivo para la tensión y negativo para la compresión, estas galgas se usan para medir la expansión y contracción.

La tensión de un cuerpo siempre es causada por una influencia externa o un efecto interno. La tensión puede ser causada por fuerzas, presiones, momentos, calor, cambios estructurales en el material o efectos similares.

Se pueden diseñar transductores especiales para la medición de las fuerzas, el transductor contiene generalmente un diafragma sensible a la fuerza, las galgas extensiométricas consisten en un metal que al flexionarse varía su resistencia eléctrica. [10]

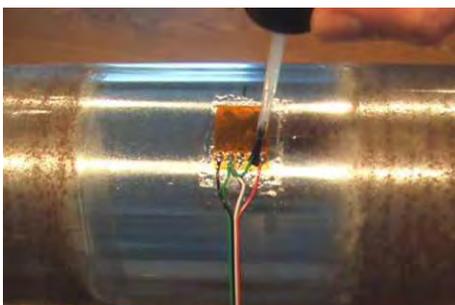


Figura 3.3.1.12 funcionamiento de la celda de carga. (dixinary.s,f)

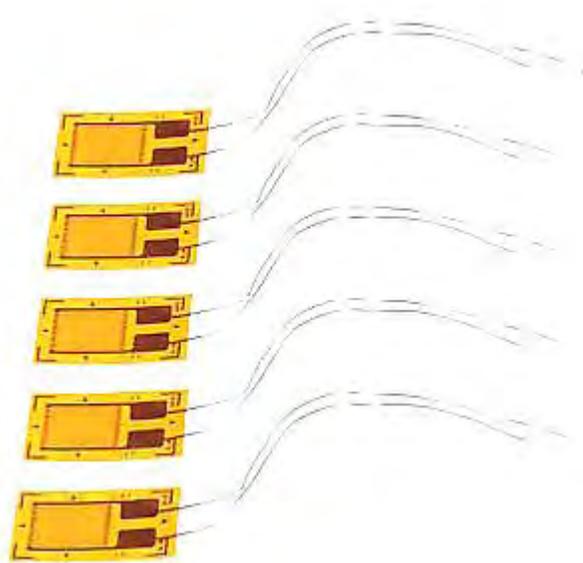


Figura 3.3.1.11 Galgas Extensiométricas.

Las celdas de carga están conformada por un metal que se deforma cuando se le aplica una fuerza, este metal se conoce sus propiedades y se calcula para soportar un determinado rango de fuerza ya sea a tensión o compresión.

La deformación se realiza dentro de su límite elástico esto es lo que limita la capacidad de una celda de carga, al momento de sobrepasar el límite elástico del metal, sufre una deformación permanente, como un resorte cuando ya no regresa a su forma original, por eso no se debe exceder el rango de medición de la celda de carga. [11]

Para poder medir la deformación se le adhieren galgas extensiométricas en un arreglo de puente de Wheatstone que trasduce la tensión o compresión que provoca la deformación en un voltaje de salida.

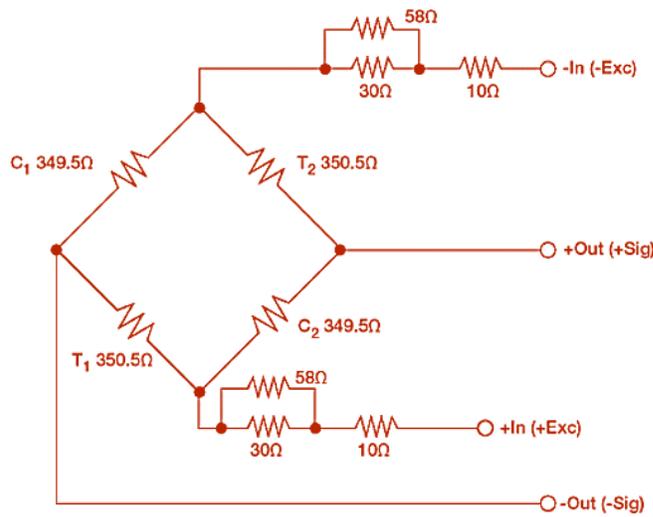


Figura 3.3.1.13 Puente de Wheatstone. [12]

Con el fin de medir la deformación con una galga extensiométrica resistiva, esta debe estar conectada a un circuito eléctrico que sea capaz de medir los cambios en la resistencia correspondientes a la Fuerza, los traductores de galgas extensiométricas, normalmente emplean 4 galgas extensiométricas conectadas eléctricamente en lo que se conoce como **Puente de Wheatstone**, [10]. De tal forma que al alimentarse con un voltaje de excitación entregan una señal de salida de voltaje proporcional a la fuerza aplicada. La señal de salida de la celda de carga está en función del voltaje de alimentación suministrado por la fuente y también por

su sensibilidad, por ejemplo si se tiene que la sensibilidad de una celda es de 3 mV/V y se alimenta con 10V, la señal que se va a tener en la salida a la capacidad máxima es de 30mV esta salida es lineal.

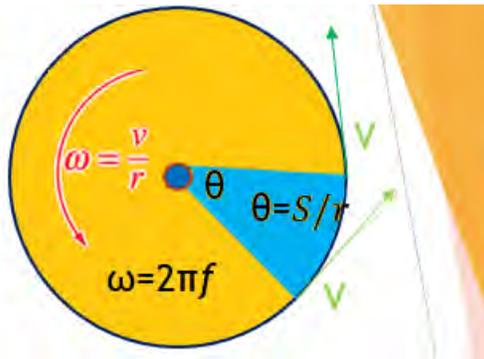
$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{C_1}{C_1 + T_2} - \frac{T_1}{C_2 + T_1} \right) \quad (3.3.1.9)$$

En la figura 3.3.1.13, T1 y T2 son galgas que terminan estando en tensión cuando se le aplica una carga a la celda, C1 y C2 son galgas que terminan estando en compresión cuando se le aplica una carga, las terminales -EXC y +EXC es donde se aplica el voltaje de alimentación o excitación de la celda de carga, en las terminales -Sig y +Sig son los pines positivo y negativo de señal obtenida de la celda de carga esta señal está en mili volts y es proporcional a la fuerza aplicada.

$$V = I\Delta R \quad \Delta V \propto \Delta F \quad (3.3.1.10)$$

Se pretende utilizar una celda de carga para medir la fuerza entregada por la turbina y el generador eléctrico.

Velocidad Angular



La **frecuencia** es la cantidad de vueltas o ciclos realizados en un segundo, si un punto se mueve en una trayectoria circular podemos decir que la frecuencia o la velocidad angular es la cantidad de giros, revoluciones vueltas o ciclos que dicho punto da en un determinado tiempo.

La velocidad angular es una medida de la rapidez de rotación, se define como el ángulo girado en una unidad de tiempo, se calcula mediante la relación de la variación del desplazamiento angular entre la variación del tiempo.

$$(3.3.1.11) \quad \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \text{ (rad/s)}$$

Figura 3.3.1.14 principio de la velocidad de rotación.

La **velocidad angular** puede ser considerada como una magnitud vectorial, con dirección a lo largo del eje de rotación y sentido dirigido por la regla de la mano derecha.

$$\vec{V} = \omega \times \vec{R} \quad (3.3.1.12)$$

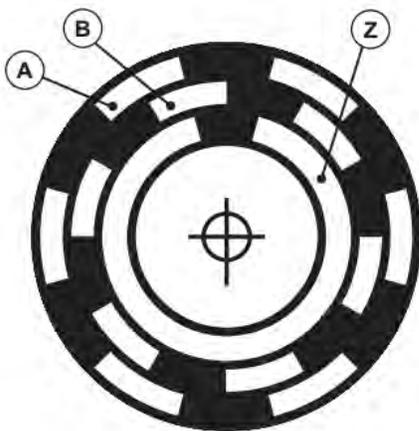


Figura 3.3.1.15 Encoder [13].

El **Encoder** es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales, estos impulsos digitales son utilizados para controlar desplazamientos del tipo angular, medir la frecuencia de rotación y velocidad angular. El encoder incremental proporciona normalmente dos formas de onda cuadrada y desfasadas entre si 90° los cuales por lo general son canal A y canal B, con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación. Mientras que si se capta también la señal B es posible saber el sentido de rotación, además otra señal llamada canal Z o cero que proporciona la posición absoluta del cero del eje del Encoder.[13]

Los Encoders pueden utilizar tecnología óptica o magnética, el sensor óptico posee altas revoluciones, velocidades de operación altas y con seguridad, operación de larga vida en los ambientes industriales, los sensores magnéticos son utilizados en ambientes industriales pesados como laminadoras de papel y acero, proveen buena resolución, altas velocidades de operación,[14]

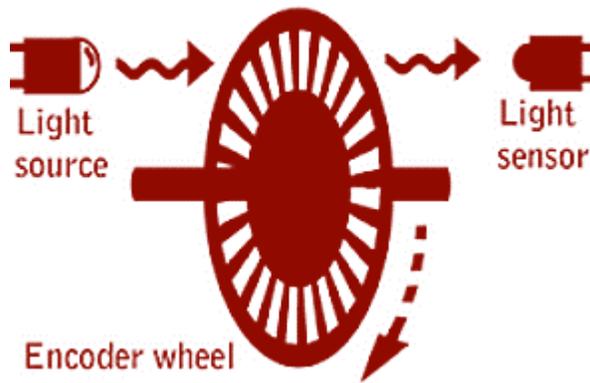


Figura 3.3.1.16 Funcionamiento del Encoder.
(Blascarr, s, f)

Los encoders incrementales proveen un número de pulsos equitativamente espaciados por revolución, se utiliza solo un canal de salida para conocer la velocidad de rotación, cuando se requiere el sentido de giro se utilizan dos canales con 90° eléctricos fuera de fase, el circuito determina la dirección de movimiento basado en la fase de relación entre ellos.[14]

Cuando la velocidad de rotación aumenta también la frecuencia de la señal de pulsos digitales, de esta manera la velocidad se trasduce en frecuencia, cada encoder cuenta con una resolución de pulsos por revolución, esta resolución depende del fabricante y es diferente según el encoder que se usara como ejemplo ,por cada revolución podemos contar 250 pulsos, lo que varía no es el número de pulsos si no el tiempo en que se obtienen 250 pulsos por revolución cuando este tiempo es menor significa que la frecuencia es mayor y viceversa de esta manera debemos leer la frecuencia de la señal de entrada.

Los encoders ópticos utilizan un disco de vidrio o plástico con un patrón de líneas arregladas de forma radial transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por un emisor infrarrojo, a medida que el eje rota el emisor infrarrojo emiten un haz de luz que es recibida por un foto transistor, generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza por el disco o es bloqueada en diferentes secciones de este, esto produce una secuencia de pulsos que puede ser usada para medir la velocidad angular.[14][15]

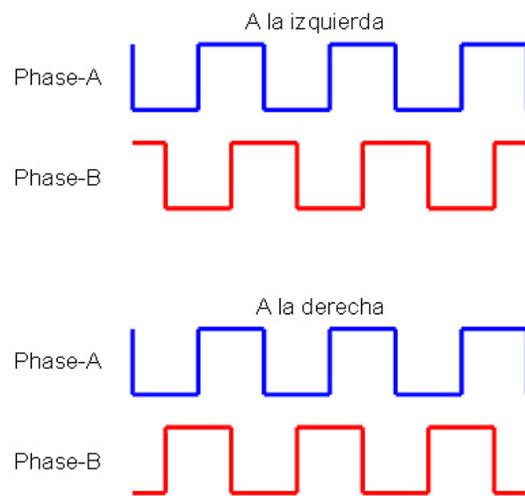


Figura 3.3.1.17 Fases del Encoder.

$$\omega = 2\pi f \quad \Delta f \propto \Delta\omega \quad (3.3.1.13)$$

Un incremento en la frecuencia es proporcional a un incremento de la velocidad angular, una revolución equivale a 2π . Se pretende medir la velocidad de rotación de la turbina y el generador eléctrico con un Encoder incremental óptico.

3.3.2 Acondicionamiento de Señal.

La señal de salida de un sensor de un sistema de medición en general se debe de procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de operación, la señal puede ser demasiado pequeña y sería necesario amplificarla o podría contener interferencias que sería adecuado eliminar, ser analógica y convertirla a digital, ser un cambio en el valor de la resistencia y convertirla en un cambio de corriente, consistir en una variación de voltaje y convertirla en una variación de corriente, transformar la variación de la frecuencia de una señal de pulsos digitales a una variación analógica como voltaje o corriente, a todas estas transformaciones se le denomina **acondicionamiento de señal**. [16]

Amplificación

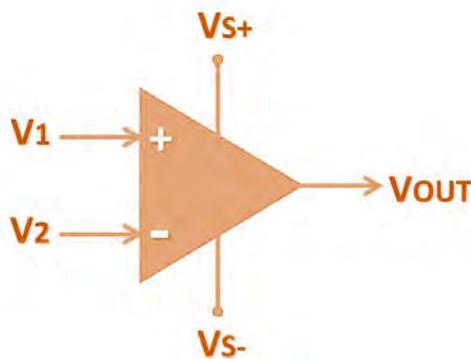


Figura 3.3.2.1 Amplificador Operacional. (PAI Instrument.s.f).

Un **amplificador operacional** es un amplificador que realiza operaciones, básicamente cuenta con dos entradas y una salida, una entrada puede estar fijada a 0V y en la otra introducir una señal con poco voltaje, entrega una ganancia de voltaje a la señal de entrada obteniendo una señal amplificada a la salida, la ganancia de voltaje del amplificador es la razón de los voltajes de entrada y de salida. El amplificador necesita una fuente de alimentación externa de la cual obtiene el voltaje para entregar una ganancia.

(3.3.2.1)

$$G = \frac{V_{out}}{V1 - V2}$$

Un **Comparador** indica cual de dos voltajes es mayor, se puede utilizar un amplificador operacional como comparador, uno de los voltajes se aplica a la entrada no inversora y el otro a la inversora, el amplificador debe de alimentarse con un voltaje de excitación como ejemplo 15V ,cuando las dos entradas son iguales no hay salida, cuando la entrada no inversora es mayor que la inversora la salida salta aun voltaje de saturación positivo +15V, cuando la entrada inversora es mayor que la no inversora, la salida salta a un voltaje de saturación negativo -15.[16]

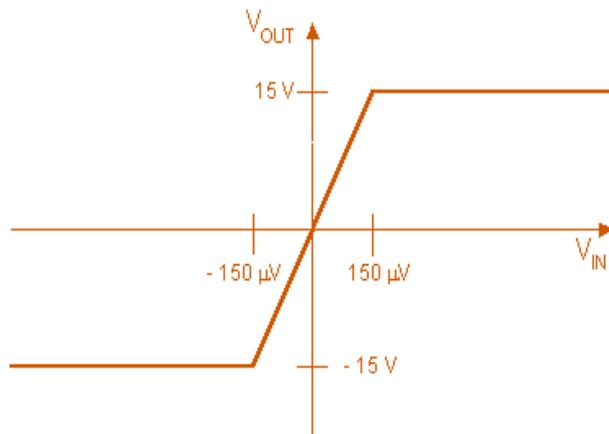


Figura 3.3.2.2 Señal de salida de un comparador de voltaje.

Filtrado

El termino filtrado se refiere al proceso de eliminación de cierta banda de frecuencias de una señal y permite que otras se transmitan, el intervalo de frecuencias que pasa por un filtro se conoce como banda de paso y el que no pasa como banda de supresión, y la frontera entre lo que se suprime y se pasa es la frecuencia de corte. [16]

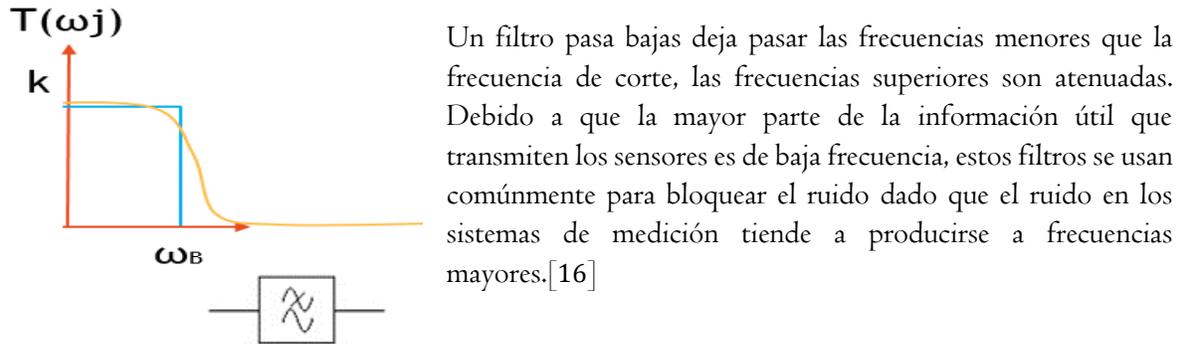


Figura 3.3.2.3 Filtro pasa bajas y símbolo.

Un filtro pasa altas deja pasar las frecuencias que se encuentran por encima de una determinada frecuencia de corte, las frecuencias menores son atenuadas, estos filtros son más comúnmente usados para amplificadores de audio para suprimir el ruido de baja frecuencia como respiración o viento.

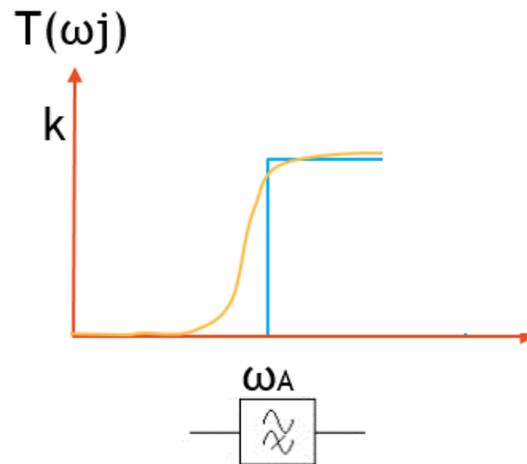
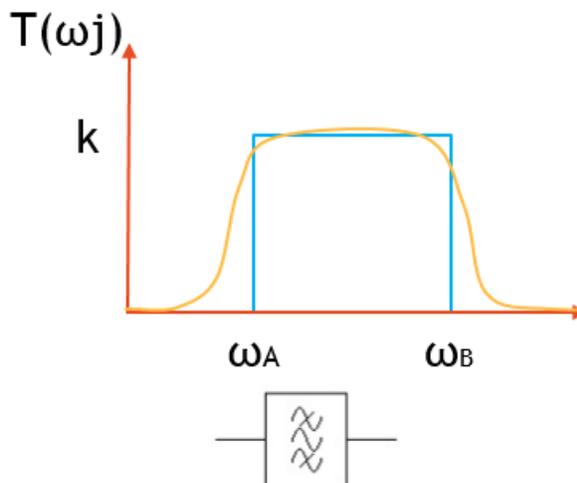


Figura 3.3.2.4 filtro Pasa altas y símbolo.



Un filtro pasa bandas permite solo el paso de frecuencias situadas dentro de un intervalo definidas por una frecuencia de corte inferior ω_A y una frecuencia de corte superior ω_B .

Un filtro activo utiliza amplificadores operacionales junto con resistencias y capacitores, los filtros activos son cada vez más usados en el campo de la instrumentación

Convertidor Analógico-Digital

Señal Analógica

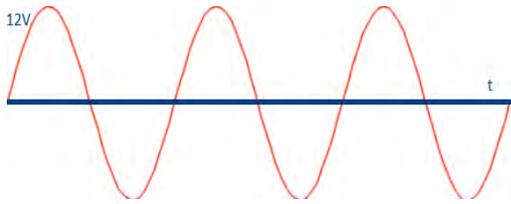


Figura 3.3.2.6 Señal analógica.

Es aquella que presenta una variación continua en el tiempo, la información de la señal como su amplitud y frecuencia es análoga al comportamiento de las variables físicas del entorno donde proviene, en la naturaleza el conjunto de señales que percibimos son analógicas como la luz, el sonido, el calor, presión y temperatura.

Señal Digital

Es aquella que es discontinua o discreta en el tiempo, la señal es una secuencia de pulsos cuadrados, fueron creadas por el hombre para codificar y cuantificar información.

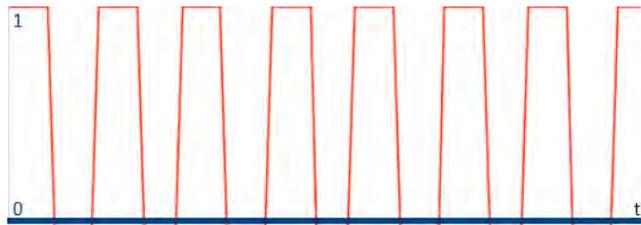


Figura 3.3.2.7 Señal de pulsos digitales.

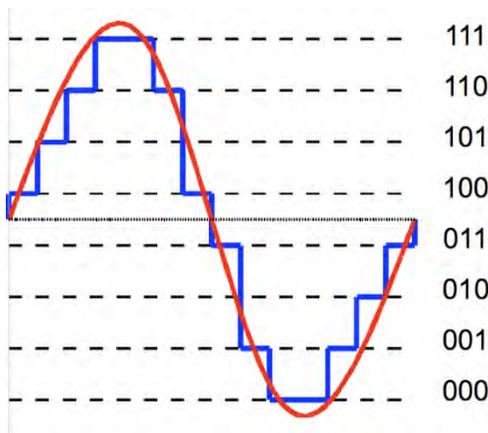


Figura 3.3.2.8 Señal Cuantificada y Codificada.

Un **Convertidor Analógico-Digital** convierte una señal analógica a una palabra binaria que representa el nivel de la señal de entrada [16], la señal es cuantificada y codificada. La cuantificación es un proceso que consiste en asignar valores binarios en bits a cada uno de los valores de voltaje de la amplitud de la señal analógica, la codificación permite convertir esos valores cuantificados en un código binario.

El proceso de codificación se hace mediante el uso de comparadores con

amplificadores operacionales a los cuales se les proporciona por una de sus entradas un voltaje preciso conocido como voltaje de referencia el cual se logra con un divisor de voltaje, de esta manera se logra que cuando el voltaje de cuantificación sea mayor que el voltaje de referencia el comparador tendrá un uno lógico en su salida, manteniendo el resto de sus comparadores en 0 lógico. La resolución es la longitud de palabra en bits que determina los posibles niveles de salida en los que se puede representar la señal analógica, es decir para una resolución de 8 bits la salida puede representarse en 256 diferentes niveles.

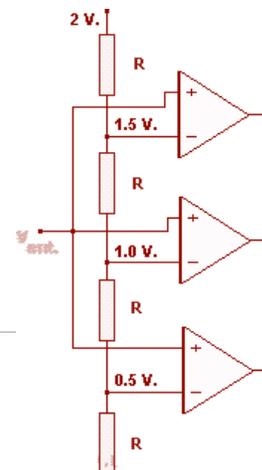
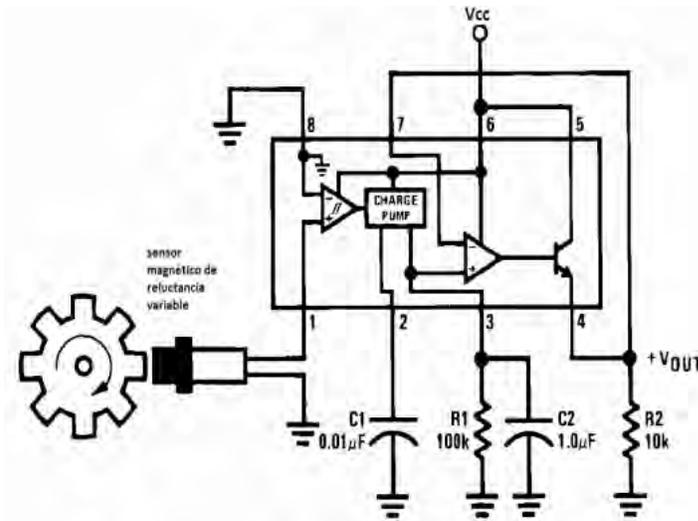


Figura 3.3.2.9 Comparador cuantificador. (Unicom s.f)

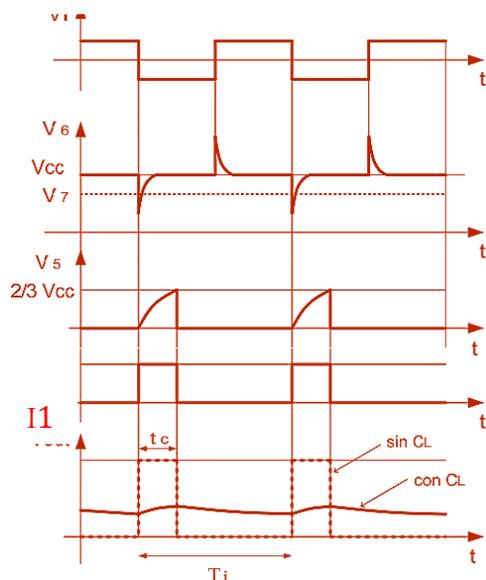
Convertidor de Frecuencia a voltaje

La aplicación más común de los conversores de frecuencia a voltaje está dada en la medición de velocidad de motores donde una serie de pulsos, proporcional a la velocidad del motor es transformada en una señal analógica para ser medida.



Los conversores de frecuencia utilizan filtros basados en los amplificadores operacionales, a la entrada del convertor se puede tener un filtro pasa altos con una frecuencia de corte mucho mayor que la máxima de entrada, también utilizan comparadores de tensión para conmutar a altas frecuencias, un filtro pasa bajas a la salida da como resultado un voltaje de continua que es proporcional a la frecuencia de entrada. [17]

Figura 3.3.2.10 Circuito convertor de Frecuencia a voltaje [17].



La señal V_i son pulsos digitales a la entrada. La señal V_6 es la señal de entrada procesada mediante un filtro pasa altos, la señal V_5 es una señal conmutada por un comparador donde se carga un condensador, La señal I_1 corresponde a la corriente de salida durante el tiempo de carga del condensador, finalmente el voltaje de salida V_{out} es resultado de la salida de un filtro pasa bajos esta será proporcional a la frecuencia de la señal de entrada

Es necesario utilizar un convertor de frecuencia ya que estamos trabajando con un encoder incremental que nos da una salida de frecuencia de pulsos digitales proporcional a la velocidad de rotación de la turbina, ya sea un convertor de frecuencia a corriente o voltaje.

Figura 3.3.2.11 Etapas de Conversión. [17]

Para la medición de la Fuerza de la turbina usamos una celda de carga que ya tiene integrado el puente de Wheatstone antes mencionado, que transforma una variación en la resistencia en una variación de voltaje, debe requerirse un transductor que convierta esta variación de voltaje a corriente para ser procesada en la siguiente etapa, las señales de los termopares son muy pequeñas y deben ser amplificadas, esta etapa de amplificación la tiene integrada el hardware de adquisición de Datos.

3.3.3 Tarjetas de Adquisición de Datos.

La Adquisición de Datos (**DAQ** Data AcQuisition) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico y físico como Voltaje, Corriente, Temperatura, Presión o Sonido. Un sistema DAQ consiste de Sensores, Hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. El Hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y las señales del mundo exterior, funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que un PC pueda interpretarlas, la tarjeta de adquisición de datos DAQ está integrada por tres componentes principales: el acondicionamiento de la señal, el convertidor Analógico-Digital y un bus de comunicación con la PC. [18]



Figura 3.3.3.1 Tarjetas de Adquisición de Datos DAQs. (National Instruments 2015)

La tarjeta de Adquisición de Datos ya trae incluida la etapa de **acondicionamiento de señal**, donde se realiza amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento, algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores como es el caso de los termopares ya que hay una DAQ especializada que amplifica los pequeños voltajes de entrada y elimina ruido mediante el uso de filtros.

También se incluye principalmente el **convertidor analógico-digital**, la DAQ contiene un chip ADC que proporciona una representación digital de una señal analógica, el ADC realiza muestras periódicas de la señal a una razón predefinida estas muestras son transferidas a una PC. [18]

Los dispositivos DAQ se conectan a una PC a través de una ranura o puerto, el Bus de la PC sirve como interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la PC para pasar instrucciones y datos medidos, los dispositivos DAQ se ofrecen en los buses de comunicación más comunes como USB, PCI, Ethernet y Wi-Fi para comunicación inalámbrica. [18]

Las DAQs están basadas en el uso de un microprocesador digital, en general se hace referencia a un microprocesador como la unidad de procesamiento central CPU, este procesa las señales digitalizadas provenientes de los sensores, y envía datos a la PC.



Figura 3.3.3.2 Tarjeta PCI. (National Instruments 2015)



EL NI C DAQ 9191 es un chasis Wi-Fi que permite un bus de comunicación con la PC de manera inalámbrica, este chasis combina comunicación IEEE 802.11g inalámbrica para el monitoreo remoto de variables físicas, el estándar 802.11 define dos modos operativos: el modo infraestructura en el que los clientes de tecnología inalámbrica se conectan a un punto de acceso [19]. El modo **ad-hoc** en el que los clientes se conectan entre sí sin ningún punto de acceso. Como alternativa este chasis aloja un servidor web desde el cual puede configurar red, seguridad, firmware, y otras configuraciones del sistema.

Figura 3.3.3.3 Chasis Inalámbrico NI c9191. [19] (National Instruments)

3.3.4 Software LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un entorno de desarrollo basado en programación gráfica, utiliza símbolos gráficos en lugar de lenguaje textual para describir acciones y dar instrucciones, está totalmente diseñado para la comunicación con hardware de adquisición de datos, y es utilizado para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos.

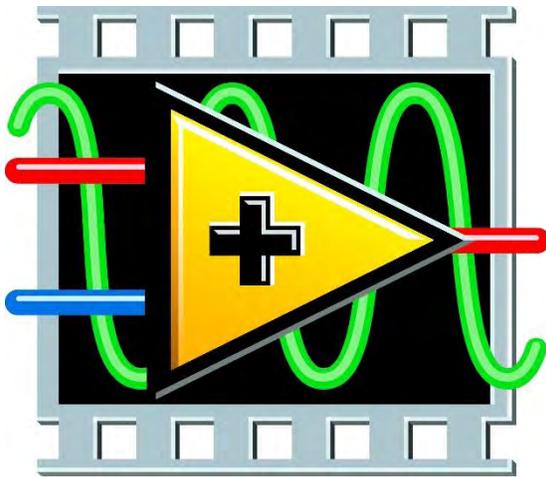


Figura 3.3.4.1 Software LabVIEW.
(National Instruments 2016)

Los programas desarrollados en LabVIEW se denominan instrumentos virtuales, sus funciones están basadas en software y se crean mediante un ordenador PC en un lenguaje de programación, se denominan virtuales porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real.

Este software de aplicación facilita la interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas, puede ser una aplicación pre-construida con funcionalidad predefinida o un entorno de programación para crear aplicaciones con funcionalidad personalizadas, las aplicaciones personalizadas generalmente son usadas para automatizar múltiples funciones de un Hardware DAQ, realizar algoritmos de procesamiento de señales y mostrar interfaces de usuario personalizadas.[18]

Software Controlador



Figura 3.3.4.2 Software NI DAQmx.
[20] (National Instruments)

EL software controlador ofrece al software de aplicación la habilidad de interactuar con el Hardware DAQ, simplifica la comunicación con las tarjetas de adquisición de datos al abstraer comandos de bajo nivel al hardware, y programación a nivel de registro, controla cada aspecto de la tarjeta de adquisición de datos. Mediante la aplicación DAQ Assistant, es posible desde el software de aplicación principal configurar parámetros de las DAQs como frecuencia de muestreo, número de muestras por segundo, rangos de medición, acondicionamiento de señal, hacer calibraciones etc. [18]

Software Data Dash board de LabVIEW para aplicaciones móviles

Se puede monitorear y controlar aplicaciones de LabVIEW desde Tablets Android, así como tablets IOS, los Dash Boards son interfaces donde se puede crear vistas personalizadas y portátiles de las aplicaciones del software de National Instruments. Con esta aplicación se pueden generar paneles de control para mostrar y supervisar a distancia los valores de las variables compartidas publicadas en la red y desplegar los servicios Web de LabVIEW sobre indicadores como gráficas, termómetros, controles Leds, manómetros etc. [21]



Figura 3.3.4.3 Software Data Dash board. (National Instruments 2014)

Software LabVIEW web UI Builder



Figura 3.3.4.4 Software labVIEW web UI builder. [22]

Es un entorno para el desarrollo de aplicaciones web en línea, aplicando programación gráfica o por bloques, permite a usuarios desarrollar aplicaciones de monitoreo remoto, supervisar y controlar de manera remota sistemas de automatización por un navegador Web, esta aplicación proporciona a los ingenieros y científicos la capacidad de desarrollar aplicaciones Web.

3.4 Composición del sistema de Instrumentación Virtual.

3.4.1 Sensores y sus características

Termopares

Los termopares tipo J están compuestos por una terminal positiva y una negativa, la terminal positiva es de hierro y la terminal negativa de constantan (Cobre-Níquel). El código de colores para las terminales son el blanco para la terminal positiva y el rojo para la negativa.

La salida del termopar tipo J es una variación muy pequeña de voltaje en función de una diferencia de temperaturas, los termopares no necesitan fuente externa de voltaje de excitación.



Figura 3.4.1.1 Termopar Tipo J. (Akrimet 2015)

Se muestran a continuación la lista de puntos de medición donde se usan los termopares tipo J, la etiqueta con la cual se va identificar a la variable, los termopares utilizados con sus rangos de medición y su correspondiente señal de salida

Variable	Etiqueta	Sensor	Rango de medición	Señal de salida
Temperatura Sobrecalentador	T1	Termopar tipo J	-184° a 760° C	-7.7mV a +42.91mV
Temperatura Vapor de Línea	T2	Termopar tipo J	-184° a 760° C	-7.7mV a +42.91mV
Temperatura Entrada de la Turbina Coppus	T3	Termopar tipo J	-184° a 760° C	-7.7mV a +42.91mV
Temperatura Salida de la Turbina Coppus	T4	Termopar tipo J	-184° a 760° C	-7.7mV a +42.91mV

Tabla 3.4.1.1 etiquetas para termopares y sus rangos de medición y salida.

Transductores de Presión Setra 522

Este transductor está basado en un sensor piezoresistivo utilizando el principio del puente de Wheatstone, el vapor es depositado en capas delgadas de silicio y dióxido de silicio en un sensor piezoresistivo de poli silicio de acero inoxidable para formar un sensible y preciso medidor de deformación producida por la presión, mediante el uso de un ASIC Circuito Integrado de Aplicación Específica, se realiza la amplificación de la señal se acondiciona la salida para entregarla en una variación de corriente en mA.



Figura 3.4.1.2 Transductor de Presión Setra 522. [23]

Este tipo de transductor permite una medición de la presión manométrica

Estos transductores requieren del uso de una fuente externa de voltaje de excitación entre 15-35V Vcc para poder entregar una variación de corriente como salida, a continuación se presenta en la tabla los datos obtenidos de la hoja de especificaciones, los puntos de medición de las variables que se desean conocer en donde se instalaron los sensores y las etiquetas que se les asignaron.

Variable	Etiqueta	Sensor	Rango de medición	Señal de salida
Presión de Vapor de Línea	P1	Transductor de presión Setra 522	0 a 150 psi (0 a 10.34 bar)	4 a 20mA
Presión a la Entrada de la Turbina Coppus	P2	Transductor de presión Setra 522	0 a 150 psi (0 a 10.34 bar)	4 a 20mA

Tabla 3.4.1.2 etiquetas para transductores de presión 522, sus rangos de medición y salida.

Transductor de Presión Setra 209

Este transductor está basado en un sensor capacitivo, una terminal de acero inoxidable I7-4 y un electrodo rígido de acero inoxidable forman el capacitor variable, está alojado en una robusta caja de acero inoxidable esta acoplado con un circuito de salida de alto nivel basado en un circuito integrado que acondiciona la señal de salida en una variación de corriente en mA. [24]



Figura 3.4.1.3 Transductor de Presión Setra 209. [24]

El modelo con especificación Z01P permite una medición de una presión por debajo de la presión atmosférica o vacuométrica

Este transductor requiere del uso de una fuente externa de voltaje de excitación entre 9-30V V_{cc} para poder proporcionar una señal de salida variable de corriente, la fuente externa de alimentación debe conectarse al pin positivo (+) EXC del transductor, el negativo de la fuente debe conectarse al COM del Hardware de Adquisición de datos, finalmente es el pin negativo (-) COM del transductor el que va al canal de medición del hardware de adquisición.

En la siguiente tabla se muestra donde se usara el sensor Setra 209, Se menciona el punto de instrumentación, su etiqueta y los rangos del sensor obtenido de la hoja de especificaciones.

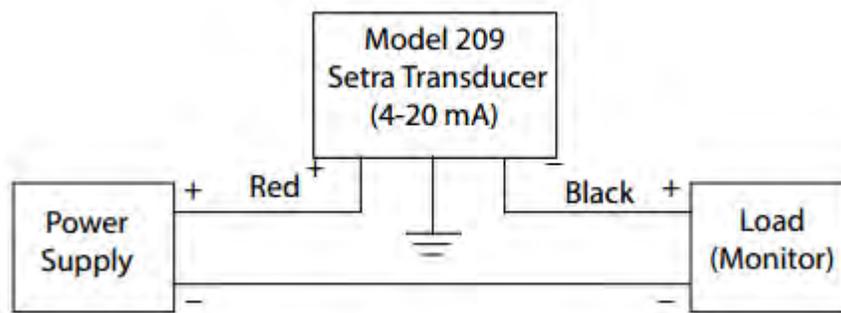


Figura 3.4.1.4 Diagrama para transductor Setra 209. [24]

Variable	Etiqueta	Sensor	Rango de medición	Señal de salida
Presión a la salida de la Turbina Coppus	P3	Transductor de presión Setra 209	0 a -14.7psi (0 a -1.013 bar)	4 a 20mA

Tabla 3.4.1.3 etiqueta para transductor de presión 209, sus rangos de medición y salida.

Celda de Carga RL 20000 B-75

Esta celda basa su funcionamiento en el principio del puente de Wheatstone, la salida de la celda de carga es determinada por el voltaje de excitación, esta celda tiene un parámetro de 3mV/V este se multiplica por el voltaje de alimentación que debe ser de 10V Vcc de esta manera para el peso máximo se tendrá una señal de 30mV. Esta celda puede trabajar a Tensión o Compresión, solo cambia el signo de la salida en mV positivos o negativos.



Figura 3.4.1.5 Celda de Carga RL20000 B-75. [25] (Rice Lake 2015)

Variable	Etiqueta	Sensor	Rango de medición	Señal de salida
Fuerza ejercida de la Turbina y el Generador	C1	Celda de Carga RL 20000-B-75	0 a 75lb (0 a 333.54N (0 a 34kg)	3mV/V 0 a 30mV, tens. 0 a -30mVcomp.

Tabla 3.4.1.4 etiqueta para Celda de carga y sus rangos de medición y salida.

Encoder E50S-250-3-T-24

Este es un Encoder rotativo incremental óptico, tiene una resolución de 250 pulsos por revolución, se alimenta de un voltaje de excitación entre 12V a 24 V Vcc, la salida es un tren de pulsos digitales donde la frecuencia de pulsos es proporcional a la velocidad de rotación, de esta manera para las rpm máximas se tendrá una frecuencia máxima de 20.83Khz



Figura 3.4.1.6 Encoder E50S-250-3-T-24. [26] (Autonics 2014)

Variable	Etiqueta	Sensor	Rango de medición	Señal de salida
Revoluciones por minuto de la Turbina y el Generador	E1	Encoder E50S-250-3-T-24	0 a 5000rpm	250 Puls/Rev 0 a 20.83KHz LOW 0 V HIGH 10V

Tabla 3.4.1.5 etiqueta para Encoder y sus rangos de medición y salida.

3.4.2 Transductores de Acondicionamiento

Transductor MCR-C-U-I-4-DC

Este transductor es un amplificador separador de 3 vías de un canal. Los amplificadores de 3 vías MCR se utilizan para la separación galvánica y para la conversión de señales analógicas. La separación de 3 vías garantiza un desacoplamiento seguro entre el circuito sensor y el circuito de evaluación y evita una perturbación mutua de circuitos de medición encadenados entre sí. [27] Utilizamos este transductor para el acondicionamiento de señal del Encoder.



Figura 3.4.2.1 Transductor MCR-C-U-I-4-DC. [27]

Este transductor recibe la variación en frecuencia de los pulsos del Encoder, en primer lugar se modula la señal y a continuación se desacopla galvánicamente mediante transformador a continuación la señal se entrega a la salida separada galvánicamente, desmodulada, filtrada y amplificada, [27]. Este transductor está compuesto por amplificadores operacionales y por filtros pasa bandas, este arreglo permite la transducción de frecuencia a una variación analógica de Corriente.

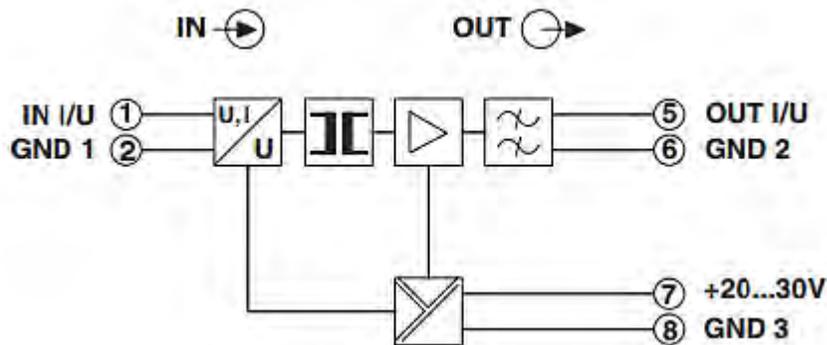


Figura 3.4.2.2 Circuito Interno del transductor. [27]

sensor	Etiqueta	Transductor	Señal de entrada	Señal de salida
Encoder E50S	TE1	Transductor MCR-C-U-I-4-DC	0...10V 0.....fmax	4 a 20 mA

Tabla 3.4.2.1 etiqueta para Transductor de encoder y sus rangos de entrada y salida.

Transductor TLB Laumas

Es un transductor de peso analógico y funciona como transmisor e indicador. Está diseñado para procesar señales provenientes de las celdas de carga, este transductor alimenta a la celda de carga con 10 V Vcc, y transduce la señal de voltaje proveniente de la celda en una señal con variación de corriente en mA.

Este Instrumento tiene cuatro botones con los que se puede acceder a un menú interno del transductor para calibrar la medición, establecer los rangos de capacidad máxima configurar las salidas y las entradas y una comunicación serial RS-232 y otro protocolo de comunicación para PLC RS-485.

Este instrumento incluye un acondicionamiento de señal ya que filtra la señal proveniente de la celda, el filtro permite estabilizar un peso cuyas variaciones sean inferiores al relativo, amplifica la señal de entrada ya que también podemos tener una salida en voltaje de $\pm 10V$, y finalmente tiene un convertidor de voltaje a Corriente para entregar una señal de 4 a 20mA. Este transductor requiere de una fuente de alimentación de 12 a 24 V Vcc para poder funcionar, de este voltaje es de donde se toman 10 V para alimentar a la celda de carga.



Figura 3.4.2.3 Transductor TLB Laumas. [28]

sensor	Etiqueta	Transductor	Señal de entrada	Señal de salida
Celda de Carga RL 20000-B	TC1	Transductor TLB Laumas	0....39mV 0.....-39mV	4 a 20 mA

Tabla 3.4.2.2 etiqueta para transductor TLB y sus rangos de entrada y salida.

3.4.3 DAQs.

DAQ NI 9213

El NI 9213 es un módulo diseñado específicamente para la lectura de Termopares de cualquier tipo, tiene 16 canales, cada canal tiene un rango de medición de $\pm 78\text{mV}$, la DAQ ya tiene integrado el acondicionamiento de señal para la amplificación y filtrado de la señal del termopar, tiene integrado también un convertidor analógico-digital con resolución de 24 bits. La DAQ incorpora además un CJC; canal de auto cero para compensación de desfase, para eliminar los errores causados por la conexión física del sensor, con el contacto de las terminales de los termopares con otros metales.



Figura 3.4.3.1 DAQ 9213. [29]

Cada Señal que entra a un canal es amplificada, pasa a través de un filtro, luego es multiplexada y muestreada por un convertidor analógico digital de 24 bits, cada canal tiene también un detector de termopar abierto que consta de una fuente de corriente entre TC- y TC+, cada canal tiene una resistencia que produce una impedancia de entrada entre el TC+ el COM y TC- y corrigen los errores resultantes de la fuente de alimentación.

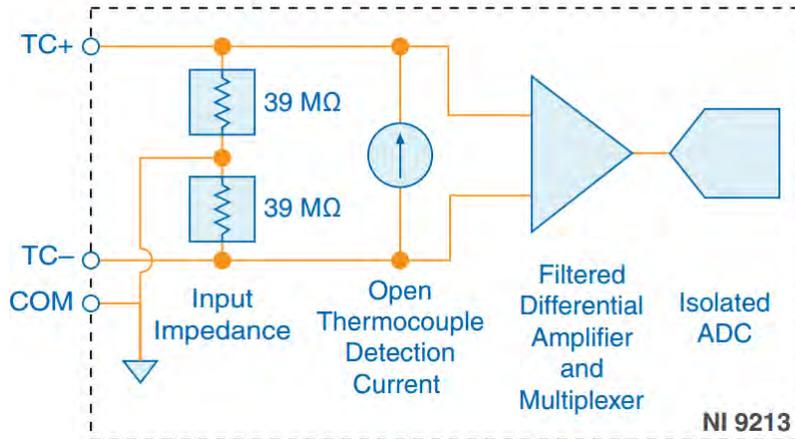


Figura 3.4.3.2 Circuito Interno de la DAQ 9123. [29]

Tabla 3.4.3.1 Especificaciones de la DAQ NI 9213. [29]

DAQ 9213	
Número de canales	16
Analog-Dig resolución	24 bits
Rango de entrada	$\pm 78\text{mV}$
Filtro freq. corte	50/ 60HZ
Velocidad de muestreo	75 S/s
CJC	1 canal interno de ajuste de cero

DAQ NI 9208

El NI 9208 es un módulo para la lectura de señales con variación de Corriente, tiene 16 canales de entrada cada canal tiene un rango de medición de $\pm 22 \text{ mA}$. La DAQ tiene integrados el acondicionamiento de señal para el filtrado y un convertidor Analógico-Digital con resolución de 24 bits.

Contiene un filtro pasa bajos en modo de alta resolución con rechazo de 50/60 HZ como frecuencia de corte, este estilo de filtro atenúa el ruido más común en un entorno industrial que es causado por motores y líneas eléctricas.

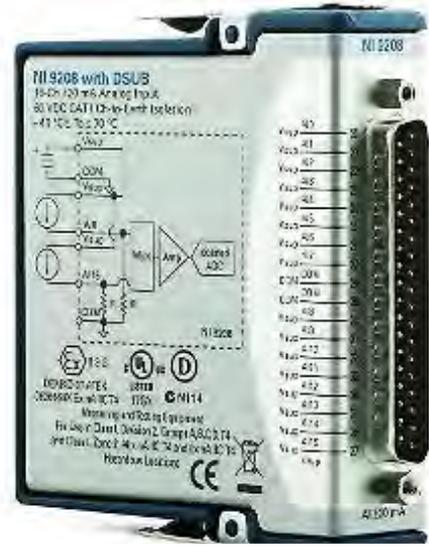


Figura 3.4.3.3 DAQ 9208. [30]

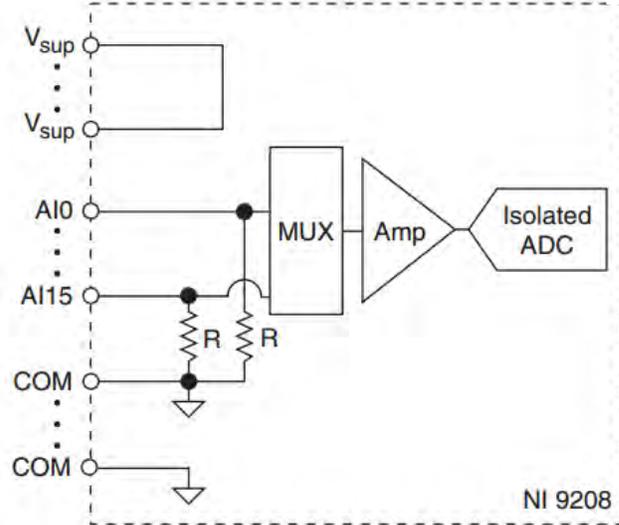


Figura 3.4.3.4 Circuito interno de la DAQ 9208. [30]

Cada canal cuenta con un pin AI de entrada al que se puede conectar una señal de corriente, en V_{sup} se puede conectar una fuente externa de alimentación, esta fuente proporciona corriente a los dispositivos que se conectan a este módulo, hay 4 pines COM que están conectados internamente a la referencia de tierra.

Las señales de entrada son adquiridas, multiplexadas, amplificadas, acondicionadas y luego muestreadas en el convertidor analógico digital de 24 bits, este módulo proporciona protección contra sobretensiones para cada canal.

DAQ 9208	
Número de canales	16
Conv Analog-Dig resolución	24 bits
Rango de entrada	$\pm 22 \text{ mA}$
Filtro freq, corte	50/ 60HZ
Velocidad de muestreo	500 S/s
Vsup	30V

Tabla 3.4.3.2 Especificaciones de DAQ 9208. [30]

3.4.4 Interfaz para Turbina de Vapor

Interfaz principal en PC

La interfaz principal fue desarrollada para visualizar en la computadora las variables físicas adquiridas por los sensores instalados en la Turbina COPPUS, esta interfaz está directamente conectada con las Tarjetas de Adquisición de Datos DAQ 9208 y 9213, recibe las señales para procesarlas con software, cuantificarlas y medir Temperatura, Presión, Velocidad de rotación y Fuerza. Las temperaturas son mostradas mediante unos indicadores que funcionan como termómetros virtuales, para visualizar las presiones se utilizaron indicadores de aguja que funcionan como manómetros virtuales, la velocidad de rotación de la turbina y el generador es visualizada mediante un indicador de aguja que funciona como un tacómetro virtual y finalmente la fuerza entregada por la turbina y el generador es visualizada en un medidor de aguja que funciona como un Dinamómetro virtual. Cada indicador tiene a un lado un indicador numérico que permite visualizar la magnitud de las variables con punto flotante. Esta interfaz además tiene la función de publicar en la red la información de las variables físicas adquiridas por los sensores mediante variables compartidas y un servidor web utilizado para la supervisión a distancia.

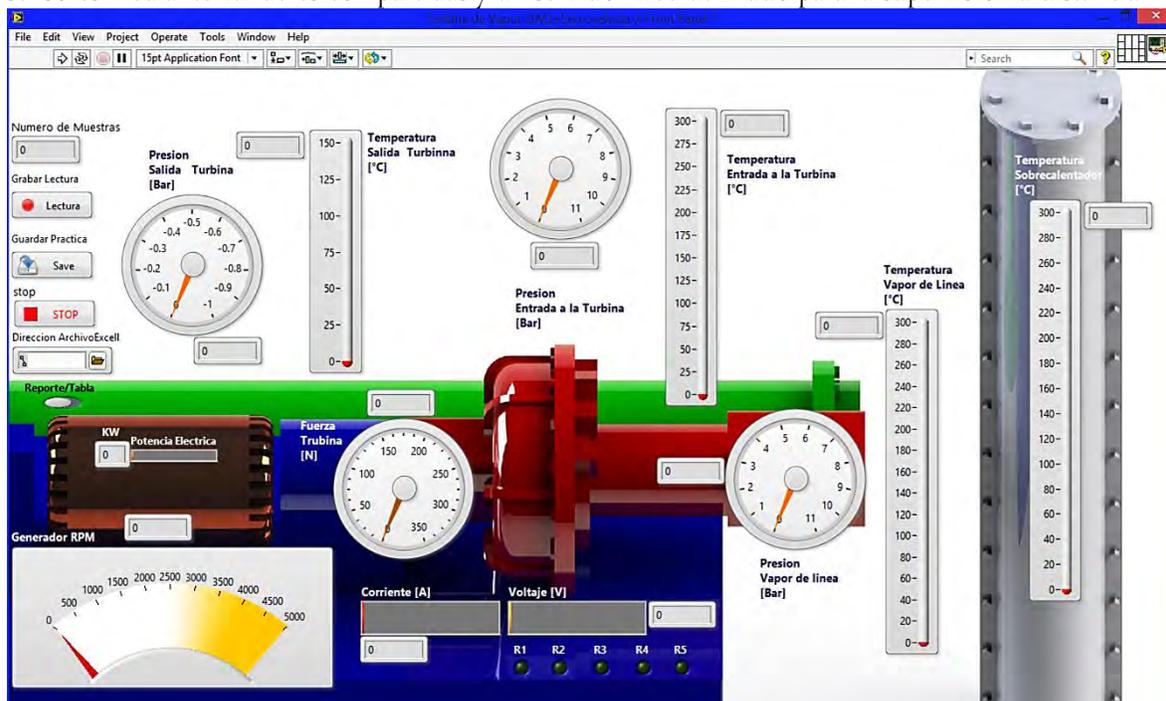


Figura 3.4.4.1 Interfaz principal para Turbina de Vapor.

Desde esta interfaz es posible registrar y capturar datos del proceso, cada que es presionado el botón **Lectura** se guardan las variables de ese instante, el indicador **Número de Muestras** indica el número de muestras guardadas y al presionar el botón **Save** se escriben en una tabla de Excel, se puede generar dos tipos de reportes, mediante el botón **Reporte/Tabla** al deslizarlo podemos seleccionar una opción, si se desliza a Reporte, la interfaz escribirá los datos a un formato de reporte en Excel con las variables registradas, si se desliza a Tabla, la interfaz escribirá los datos en una tabla de propiedades de vapor, se debe seleccionar la ubicación del archivo Excel haciendo clic en el botón con icono de carpeta **Dirección archivo Excel**. Durante la práctica se activan manualmente en la turbina las resistencias que frenan al generador eléctrico, y para mantener las rpm constantes se regula el flujo de vapor con el

objetivo de obtener la línea Williams, cada que en la turbina el operador active manualmente alguna resistencia, desde la interfaz el usuario debe activar el led de resistencia R1,R2 o R3...etc. correspondiente a la resistencia física manualmente activada esto permitirá a la interfaz conocer que resistencia está trabajando y visualizar la Corriente del generador, de igual forma la Potencia y el Voltaje se obtienen mediante operaciones y cálculos con señales provenientes de sensores como la fuerza y las rpm del generador junto con los valores de las resistencias eléctricas.

Interfaz para servovalvulas

La interfaz para servoválvulas permite manipular los actuadores mecánicos que regulan el flujo de vapor, esta interfaz está directamente conectada con la tarjeta Electrónica de Control diseñada especialmente para manipular las servovalvulas [3]. La interfaz permite la comunicación con la tarjeta de control y envía la medición de la velocidad de rotación de la turbina obtenida con el Encoder E50S para poder tener una retroalimentación de las variables que se pretenden controlar. Mediante el control numérico **Control RPM** el usuario puede introducir el valor deseado de las revoluciones por minuto que debe girar la turbina, este valor es mandado a la tarjeta de control la cual realiza la acción de corrección y se retroalimenta de la medición de velocidad. Se debe indicar el puerto COM donde se conectó la tarjeta de control en el **VISA port**

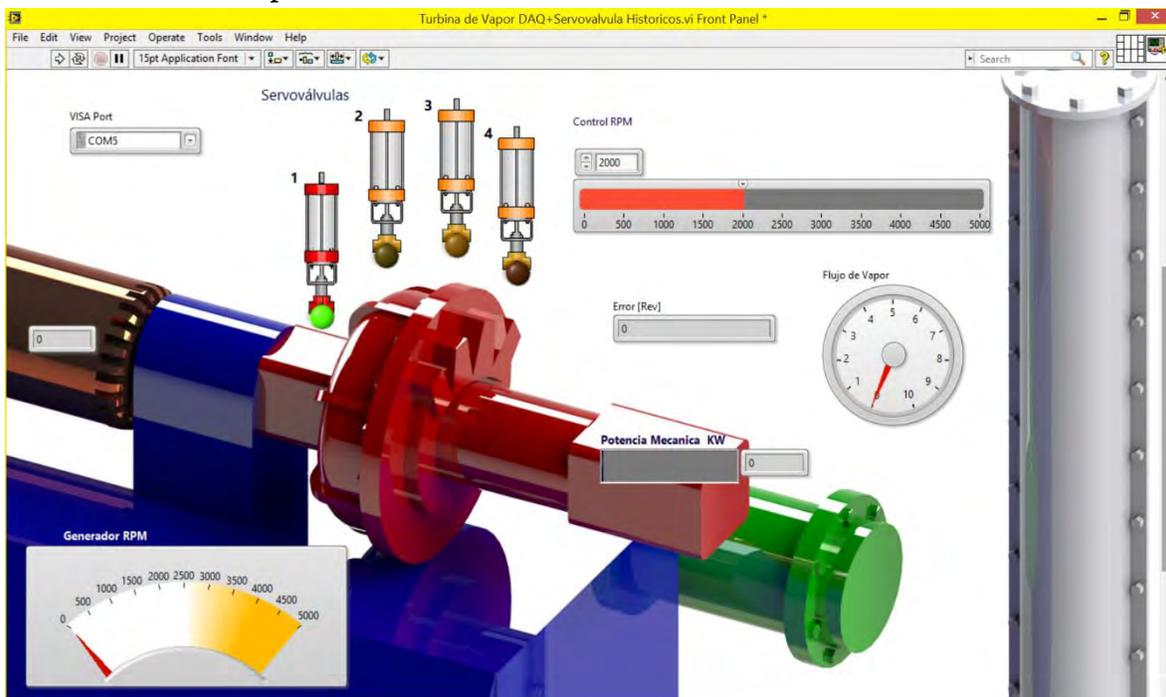


Figura 3.4.4.2 Interfaz para Manipulación de Servovalvulas.

La interfaz contiene 4 botones en forma de válvulas, el botón número uno es el botón principal ya que es el que manda la señal de activación a la tarjeta, primero se introduce en Control RPM el valor deseado y después se da clic en botón I con forma de válvula, los demás funcionan como indicadores representando cada uno una válvula y avisando mediante un cambio de color cual está activada y realizando funciones, en caso de que se presentara una situación de riesgo la interfaz también envía una señal de alarma a la tarjeta controladora mediante un código.

Interfaz para dispositivos móviles

La interfaz para dispositivos móviles permite supervisar a distancia las variables del ciclo Rankine y la evolución del proceso en tiempo real, esta interfaz está conectada a la red donde se publicaron las variables compartidas del proceso, también puede trabajar con servidores Web de National Instruments. Las variables compartidas se publican en la red desde la interfaz principal y se actualizan durante la ejecución del programa, estas variables también pueden publicarse mediante un servidor web, mediante la aplicación data Dashboard es posible crear paneles de control en los dispositivos móviles.

Se desarrolló un panel de control con indicadores de aguja como los manómetros, cada indicador cuenta con un link que se vincula a la variable compartida o servidor en la red correspondientes a las Presiones, de igual modo se agregaron barras deslizantes que funcionan como termómetros y se vinculó sus respectivos links con las Temperaturas publicadas en la red y lo mismo para las rpm y la fuerza.



Figura 3.4.4.3 Interfaz para Dispositivos Móviles

Los indicadores de aguja tienen integrado un indicador numérico de punto flotante, mientras que para las barras deslizantes o termómetros fue necesario agregar junto a ellos sus respectivos indicadores numéricos de punto flotante estos también se vinculan a la misma variable del termómetro sin haber problemas ya que la misma variable puede ser visualizada por muchos indicadores simultáneamente, permitiendo que diferentes dispositivos móviles se puedan conectar a la red y visualizar las variables en proceso, de esta forma se pretende que los alumnos de térmicas visualicen en sus dispositivos móviles como Tablet o iPad el avance de la práctica.

Interfaz en servidor Web UI Builder de National Instruments

Se desarrolló esta tercera interfaz de la Turbina COPPUS en el entorno de desarrollo en línea para la creación de aplicaciones web mediante Web UI Builder mediante el uso de los servidores de National Instruments, esta interfaz es una aplicación web que permite monitorear remotamente la evolución del proceso, esta interfaz funciona mediante un servidor web que se publica desde la interfaz principal y se aloja en los servidores de National Instruments permitiendo acceder en línea a la interfaz desde un navegador web.

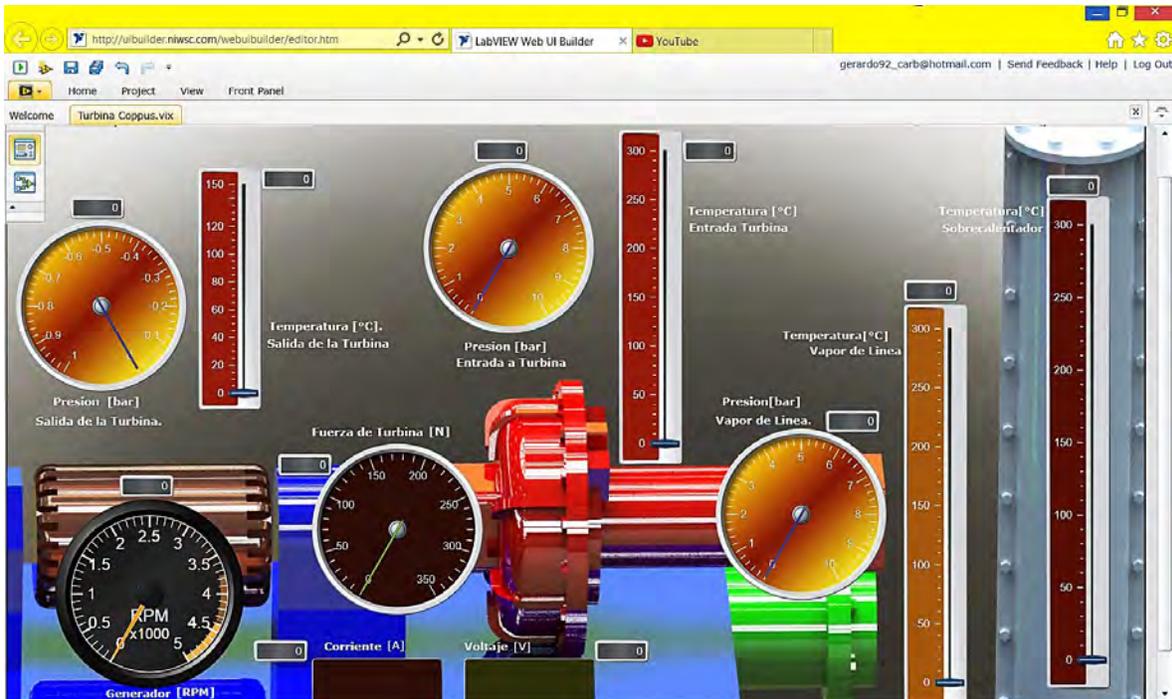


Figura 3.4.4.4 Interfaz en línea para monitoreo remoto

El servidor web se crea desde la interfaz principal dentro del servidor hay un sub VI con las variables compartidas que se usan también con dispositivos móviles, este servidor con dichas variables es alojado en el servidor NI web based Monitoring En este panel frontal se importa el servicio web publicado anteriormente y se asociaron cada indicador e instrumento virtual a las variables correspondientes de las señales de los sensores provenientes de la interfaz principal que se publican mediante un servidor web. Para poder acceder a esta interfaz es necesario acceder mediante la cuenta de National Instruments con la que fue desarrollada.

Esta interfaz permite un monitoreo remoto del Ciclo Rankine es necesario que esté funcionando la interfaz principal para que esta interfaz funcione, se puede acceder a este servidor desde cualquier lugar y se tendrá la supervisión a distancia de la planta a cualquier hora y desde lugares remotos.

3.4.5 Modelos y CADs de Gabinete de Control

Para poder realizar todas las conexiones de los sensores, los transductores, y las DAQs se implementó un armario de control que contuviera la fuente de poder que alimentara los sensores, y todas las conexiones de sensores con transductores y DAQs, primero se realizó un modelo con la aplicación Solid Works electrical donde permite utilizar librerías con CADs de los componentes comúnmente utilizados en la automatización industrial se descargaron varios CADs de GrabCAD como fue el modelo de un chasis NI 9191 de National Instruments, las clemas WDU 2.5 de Weidmuller, y para completar también se modelaron en Solid Works los transductores Laumas y Phoenix Contact utilizando las medidas que se indicaban en sus respectivas hojas de datos permitiendo integrarlos en un ensamble de la misma manera en que serían instalados físicamente utilizando canaletas porta cables y riel DIN obtenidos de GrabCAD, el primer modelo del concepto del armario de control se muestra a continuación en la siguiente imagen.

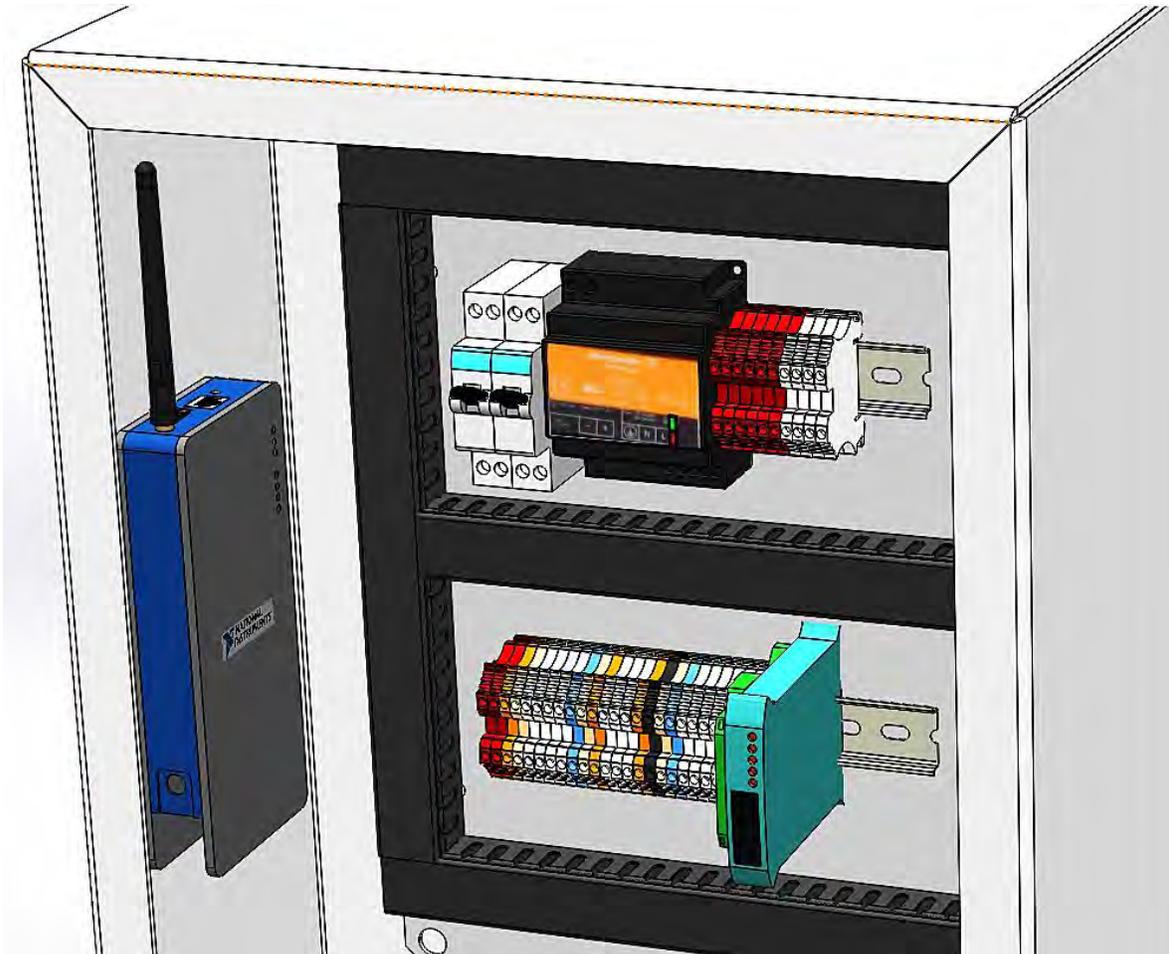
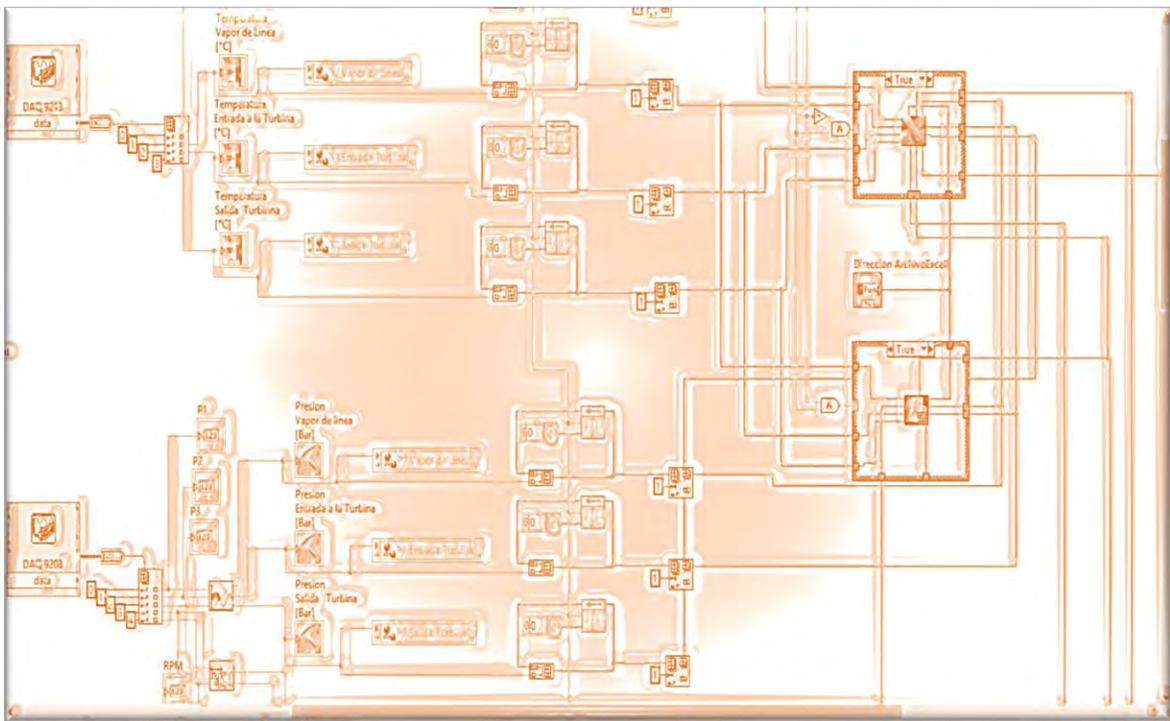


Figura 3.4.4.5 Armario de Control modelado en Solid Works.

4. Diseño de Detalle



“Hasta que una maquina no pueda originar una idea para la cual no fue diseñada, no puede ser considerada inteligente en la misma forma que lo son los humanos.”

(Ada Lovelace.)

4.1. Conexiones para Gabinete de Control

4.1.1. Conexiones para los Sensores y Transductores

Transductores de Presión Setra 522



Figura 4.1.1.1 Cable control blindado. (bodega del cable s.f.)

Para las conexiones de los transductores de presión se seleccionó un cable control blindado especial para aplicaciones de instrumentación y control. Este cable viene estañado con un blindaje de malla que reduce en gran medida el ruido provocado por efectos electromagnéticos de motores y líneas eléctricas.

Para la selección de los conectores se utilizó la tabla de calibres AWG en función de la intensidad de corriente que pueda circular por él conductor. A pesar de que los sensores manejan bajas magnitudes de corriente, se consideró que la fuente con la que se alimentara a los transductores puede entregar hasta 2A, de esta forma se seleccionó el calibre 18 con cuatro polos y su capacidad es de 2.5 A dándonos un margen más que el requerido para garantizar la seguridad de uso y además poder utilizar este cable en otros sensores que utilicen la misma fuente.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
2	6,544	33,63	1,50	96
4	5,189	21,15	0,80	60
6	4,115	13,30	1,27	38
8	3,264	8,36	2,03	24
10	2,588	5,26	3,23	15
12	2,053	3,31	5,13	9,5
14	1,628	2,08	8,17	6,0
16	1.291	1.31	12.9	3,7
18	1,024	0,82	20,83	2,5
20	0,8118	0,52	32,69	1,6

Tabla 4.1.1.1 Calibres AWG y corriente. (AWG s.f.)

El transductor de presión cuenta con cuatro pines de salida enumerados, se localizaron estos números en la hoja de especificaciones para identificar el pin positivo y el pin negativo, la salida de este transductor es una señal variable de corriente, la conexión para la salida a corriente solo se utilizan dos pines, el pin positivo de entrada donde se energiza con el Vcc de la fuente y el pin negativo que va al canal de la DAQ, en la tabla se muestra a que pines corresponden los números y el código de colores que se le asignó a cada pin.

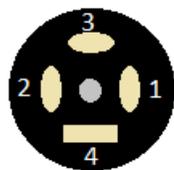


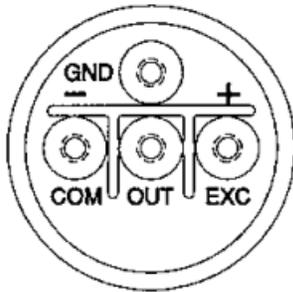
Figura 4.1.1.2 pines del transductor setra 522.

	IN+	IN-	EARTH
PIN	1	2	4
Cable	Azul	Blanco	Shield

Tabla 4.1.1.2 Código de colores y pines, setra 522.

Se utilizaron conectores del tipo mini Din mPm especiales para aplicaciones industriales los cables se añadieron a este conector y en la base se muestra la correspondencia con los pines del transductor así como el código de colores asignado a cada pin. El shield es la malla de alambre que va a tierra física

Transductor de Presión Setra 209



Este modelo 209 cuenta con cuatro vías de salida EXC+, COM-, OUT y GND, para la señal de salida con variación de corriente solo se utilizan 2 vías EXC+ y COM- y en GND va conectada la malla.

Figura 4.1.1.3 pines del transductor setra 209. [24]

La conexión se realiza como se muestra en el diagrama, el pin positivo de la fuente de 24V Vcc va conectado a EXC+, El pin negativo de la fuente va conectado a un COM de la DAQ y el pin COM- del transductor es el que va conectada al canal de la DAQ.

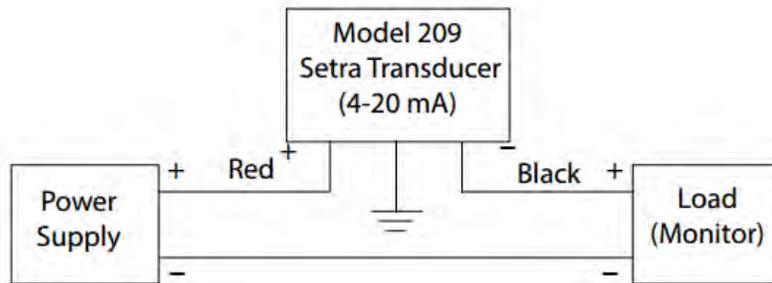


Figura 4.1.1.5 Conexión de fuente 24V para transd.209. [24]

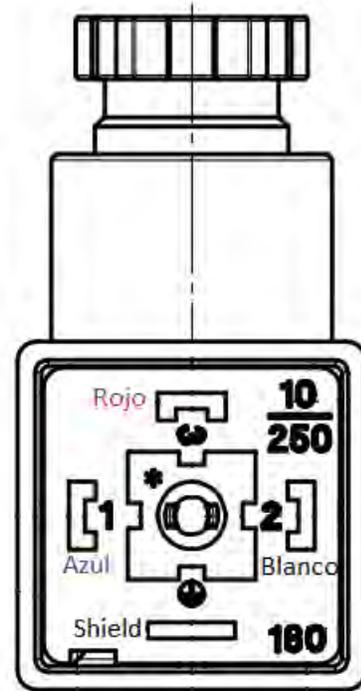


Figura 4.1.1.4 Conector mini DIN para setra 522. (miniDIN s.f.)

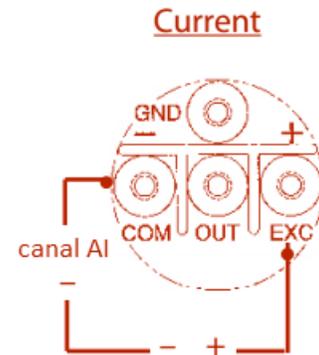


Figura 4.1.1.6 conexiones del transductor 209. [24]

En la tabla se asignan los códigos de colores correspondientes a las dos vías del transductor

	IN+	IN-	EARTH
PIN	EXC	COM	GND
Cable	Blanco	Azul	Shield

Tabla 4.1.1.3 Código de colores y pines setra 209.

Encoder E50S-250-3-T-24 y transductor MCR-C-U-I-4-DC

En la siguiente imagen se muestra el código de colores del Encoder, para cuando se desea solo saber la velocidad de rotación se puede utilizar solo un canal A o B en este caso se usa el canal B para obtener el tren de pulsos, el encoder es alimentado con una fuente de 24V Vcc.

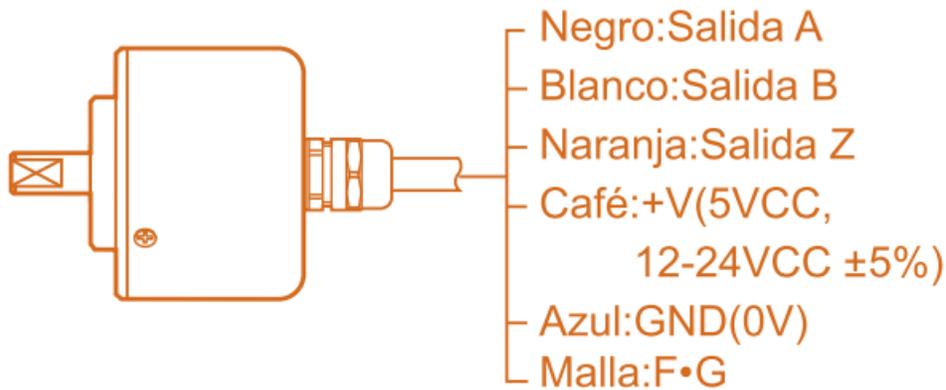


Figura 4.1.1.7 Código de colores del Encoder E50S. [26]

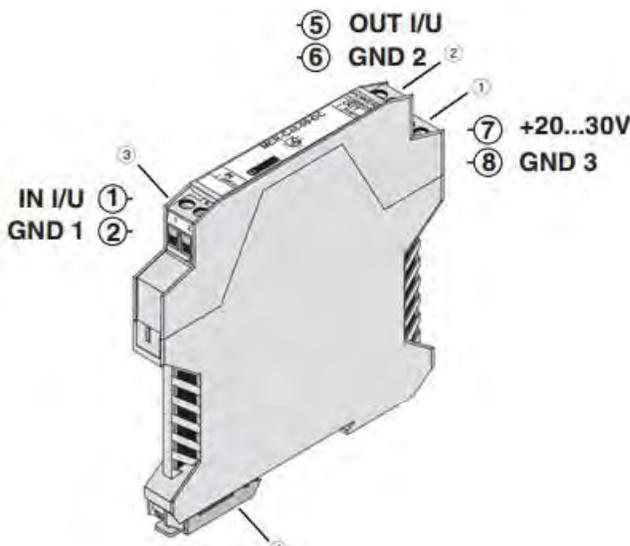


Figura 4.1.1.8 Pines del transductor MCR. [27]

La señal del Encoder es procesada por el transductor de acondicionamiento de señal, se conecta la señal del canal B en el pin1 que corresponde a la entrada, el transductor se alimenta con 24 V Vcc en el pin 7 positivo y pin 8 GND, a la salida se obtiene del pin 5 que va al Canal de la DAQ y el pin 6 que va al COM. Este transductor entrega 4mA para cuando el encoder envía el 0 lógico y 20mA para el 1 lógico de 10V, pero cuando existe una frecuencia de pulsos entrega una salida analógica debido a los filtros y compradores del transductor, cuando la frecuencia es muy baja la salida está cerca del valor de 20mA cuando la frecuencia aumenta la salida se atenúa

dando una variación hacia los 4mA para la frecuencia máxima medible.

	positivo+	negativo-	Señal y canal
Señal Entrada	1	2	Canal B 0 a20.88 KHz
Alimentación	7	8	24 V
Señal de salida	5	6	Canal DAQ 4 a 20mA

Tabla 4.1.1.4 Distribución de pines del transductor MCR.

Celda de carga y transductor

En la siguiente tabla se muestra el código de colores para la celda de carga.

	positivo+ alimentación	negativo- alimentación	Salida de la celda positiva	Salida de la celda negativa
PIN	+Excitation	-Excitation	Señal+	Señal-
Cable	Rojo	Negro	Verde	Blanco

Tabla 4.1.1.5 Código de colores y pines celda de carga.

Los cables rojo y negro EXC- y EXC+ se conectan al transductor TLB en los pines 1 -EX y 2 +EX, mediante estos pines el transductor suministra un voltaje de alimentación de 10V a la celda de carga.

Los cables verde y blanco Señal- y Señal+ se conectan al transductor en los pines 5 -SIG y 6 +SIG,

Obtenemos la salida del transductor como una señal variable de corriente en los pines 10 mA y 12 COM

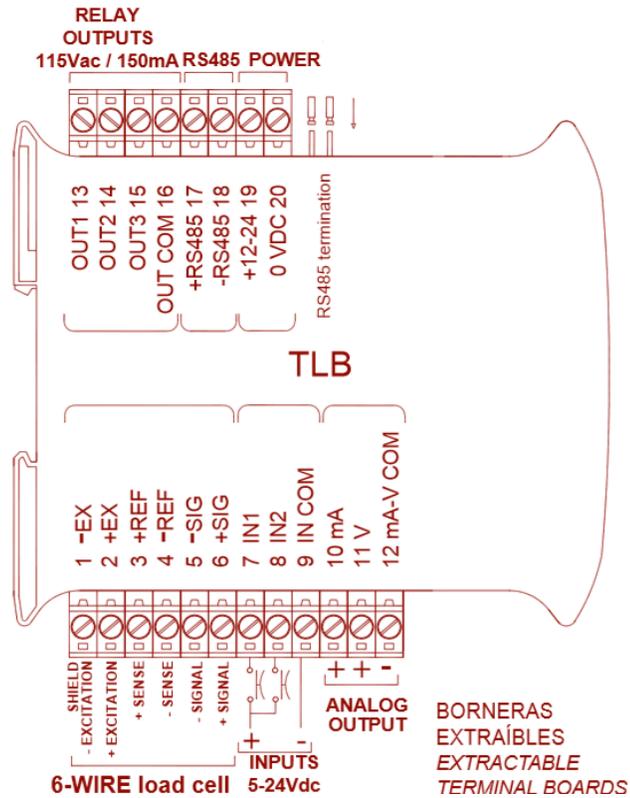


Figura 4.1.1.9 Pines del transductor TLB Laumas. [28]

	positivo+	negativo-	Señal y canal
Señal Entrada	6	5	Señal + Celda Señal - Celda
Alimentación para la celda	2	1	EXC+ Celda EXC- Celda
Alimentación	19	20	24 V
Señal de salida	10	12	DAQ canal AI 4 a 20 mA

Tabla 4.1.1.6 Distribución de pines del transductor TLB Laumas.

4.1.2. Conexiones en canales de las DAQs

La DAQ NI 9213 cuenta con 16 canales en la figura se muestra su diagrama de canales y terminales, los termopares se conectan directamente a la DAQ cada canal cuenta con dos terminales la positiva y la negativa, para los termopares tipo J la terminal positiva es el cable blanco y la negativa el cable rojo y se conectan como se muestra en la figura

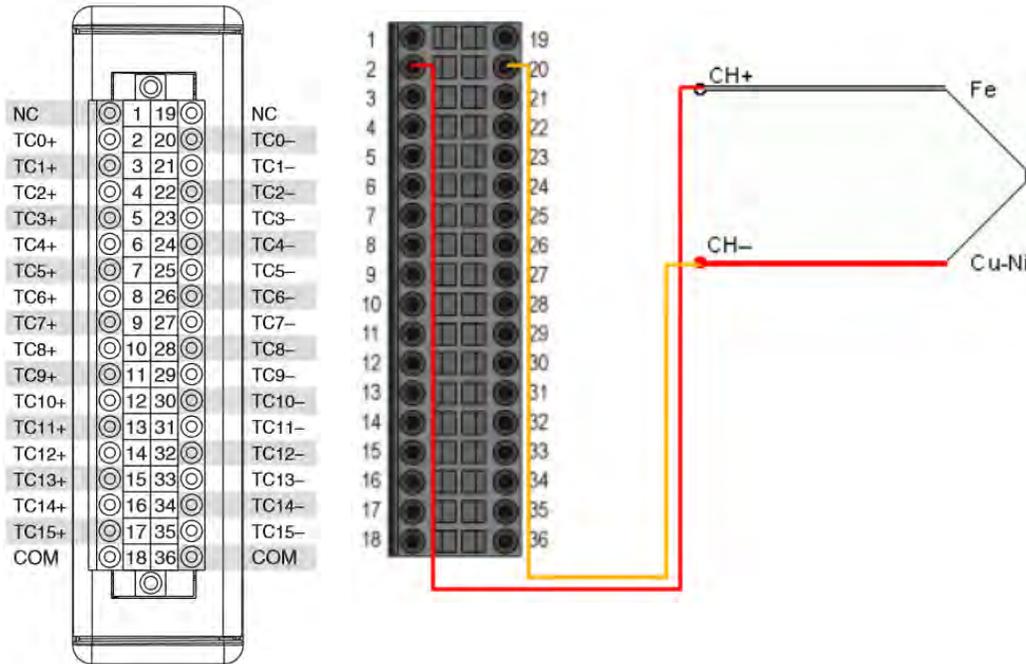


Figura 4.1.2.1 Pines DAQ 9213. [31]

Figura 4.1.2.2 Conexión de Termopar en DAQ 9213

En la siguiente tabla se muestra el canal al que va conectado cada termopar, también el número de pines positivos y negativos del canal

Variable	Etiqueta	Canal	Pin+	Pin-
Temperatura Sobrecalentador	T1	TC8	10	28
Temperatura Vapor de Línea	T2	TC2	4	22
Temperatura Entrada de la Turbina Coppus	T3	TC4	6	24
Temperatura Salida de la Turbina Coppus	T4	TC6	8	26

Tabla 4.1.2.1 Asignación de canales en DAQ 9213.

La DAQ NI 9208 cuenta con 16 canales en la figura se muestra su diagrama de canales y terminales, esta DAQ cuenta con un bloque de terminales 9923 que se conecta al DSUB y que permite realizar las conexiones a la DAQ mediante este bloque.

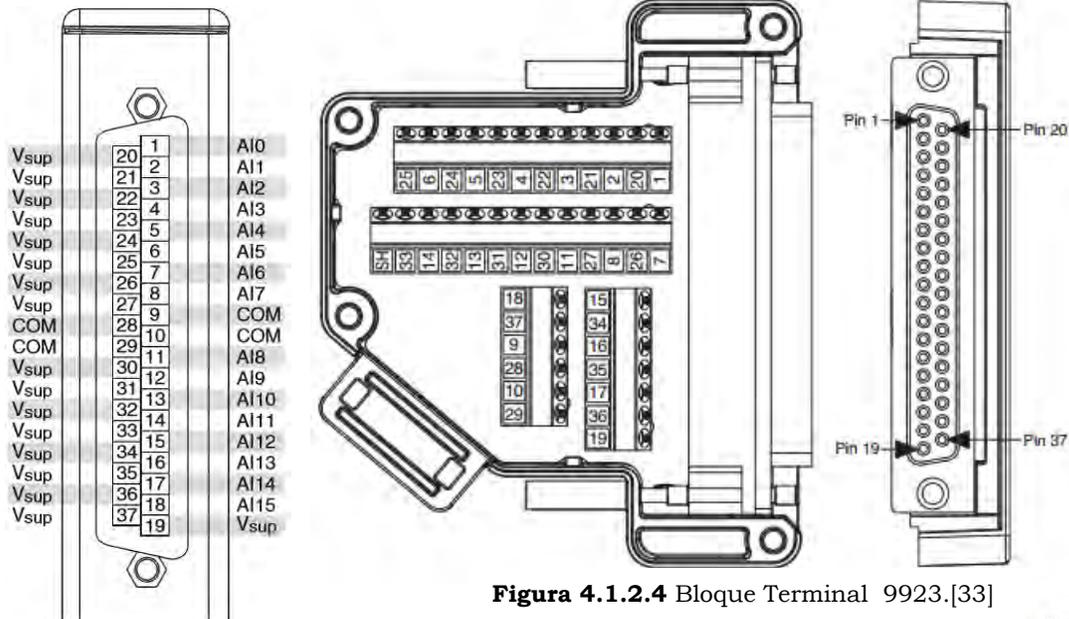
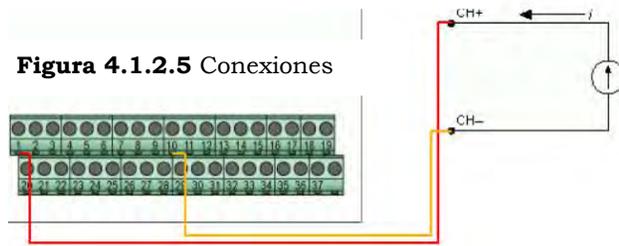


Figura 4.1.2.4 Bloque Terminal 9923.[33]

Figura 4.1.2.3 Pines DAQ 9208. [32]

Las conexiones al bloque se realizan conectando al pin AI la señal y utilizando los COM para cerrar el circuito como se muestra en la figura

Figura 4.1.2.5 Conexiones



Variable	Etiqueta	Canal	Pin+	COM
Presión Vapor de línea	P1	AI0	1	9
Presión de entrada a la Turbina Coppus	P2	AI1	2	9
Presión a la salida de la Turbina Coppus	P3	AI2	3	9
Revoluciones por minuto de la Turbina y Generador	TE1	AI10	13	10
Fuerza de la Turbina y Generador	TC1	AI11	14	28

Tabla 4.1.2.2 Asignación canales DAQ9208.

4.1.3. Gabinete de Control y conexiones

Se diseñó e instaló un sistema de conexiones para todos los sensores con el uso de clemas para riel DIN, el primer nivel está planeado para la etapa de potencia y distribución de voltaje, está compuesta por un interruptor termomagnético conectado a 127V AC el cual al detectar una sobrecarga se desactiva, este interruptor activa la Fuente de 24 V DC a 2A, las clemas rojas corresponden a Vcc positivo de la fuente y están puenteadas en paralelo para que cada clema suministre 24V, las blancas corresponden al 0 v o común de la fuente y también están puenteadas en paralelo, a través de estas clemas se suministra voltaje a los tres transductores de presión, al transductor de la celda de carga, al encoder y su transductor de acondicionamiento de señal.

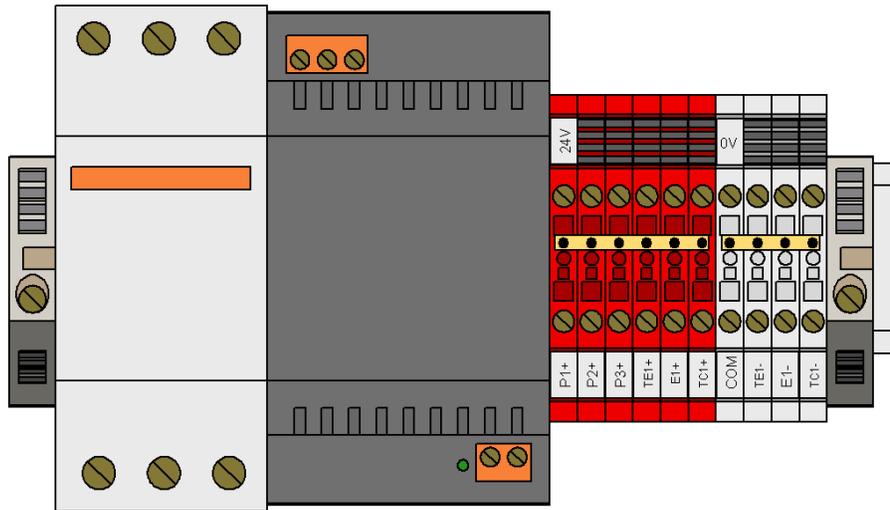


Figura 4.1.3.1 Nivel de clemas de potencia y fuente 24V

El siguiente nivel está compuesto por el arreglo de clemas que distribuyen las señales de los sensores, los dos transductores de señal y las clemas de tierra física, en la figura se puede observar las etiquetas correspondientes a las entradas y salidas de cada clema, estas corresponden a los pines positivo + o negativo- de cada sensor y se indica la clema donde está conectado, las salidas también tienen etiqueta

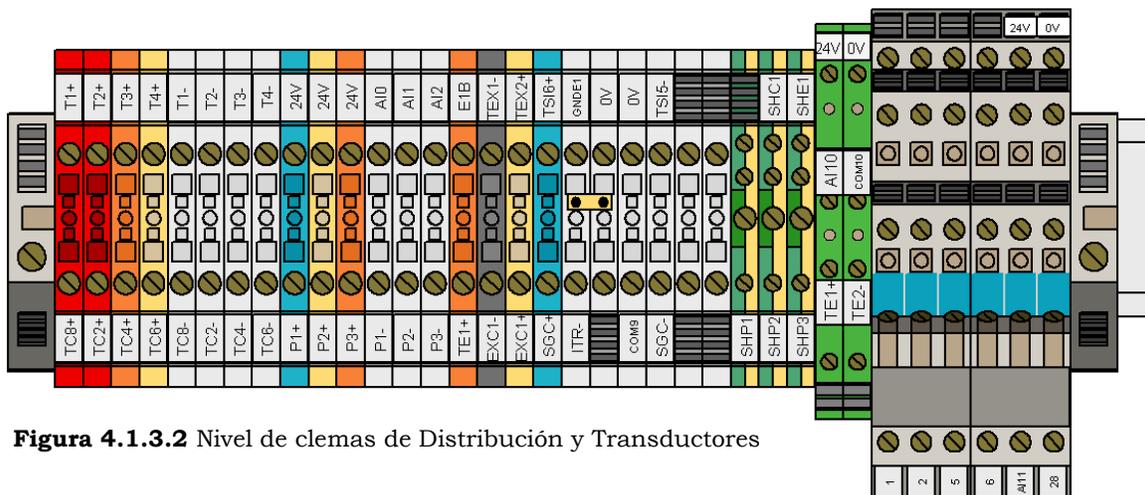


Figura 4.1.3.2 Nivel de clemas de Distribución y Transductores

que indican a que canal de la DAQ, pin del transductor de señal o fuente de alimentación va dirigida la salida de la clema, a través de las clemas y las canaletas porta cables panduit, es posible realizar el alambrado de los diagramas de conexiones correspondientes a los sensores y transductores. En las siguientes imágenes se muestra la evolución del proceso de implementación de las clemas y sus conexiones, la integración de los rieles con fuente de poder, interruptores y DAQs dentro del gabinete de control.

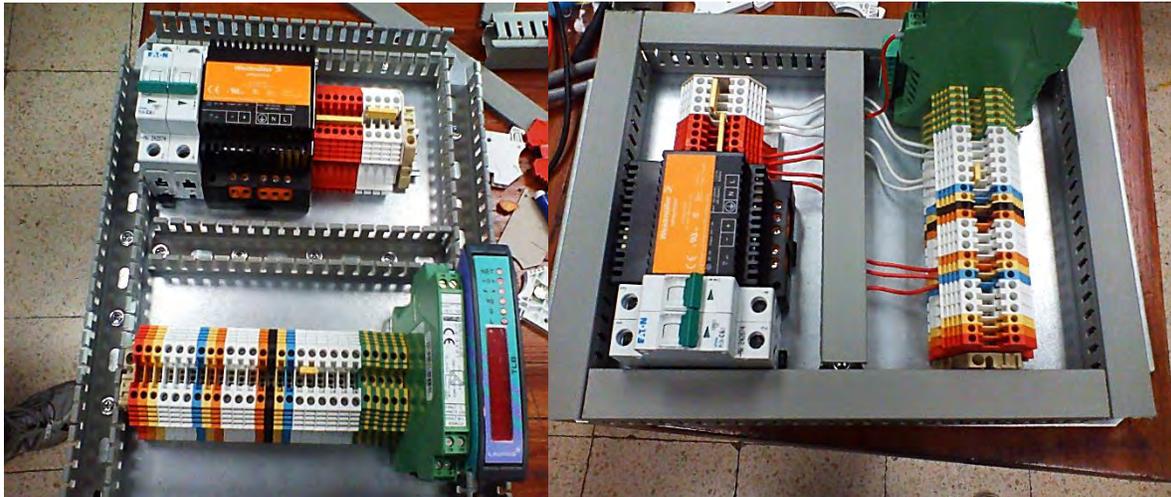


Figura 4.1.3.3 Proceso de realización de Placa de Control

Finalmente se procedió a Instalar el Gabinete en el Laboratorio de Maquinas Térmicas de Fes Aragón se introdujeron los cables de termopares y sensores al gabinete de control y se realizó las conexiones.



Figura 4.1.3.4 Instalación de Armario



Figura 4.1.3.5 Cableado del Armario

4.2. Red TermoVirtual y configuración del Hardware DAQ.

4.2.1. Red TemoVirtual

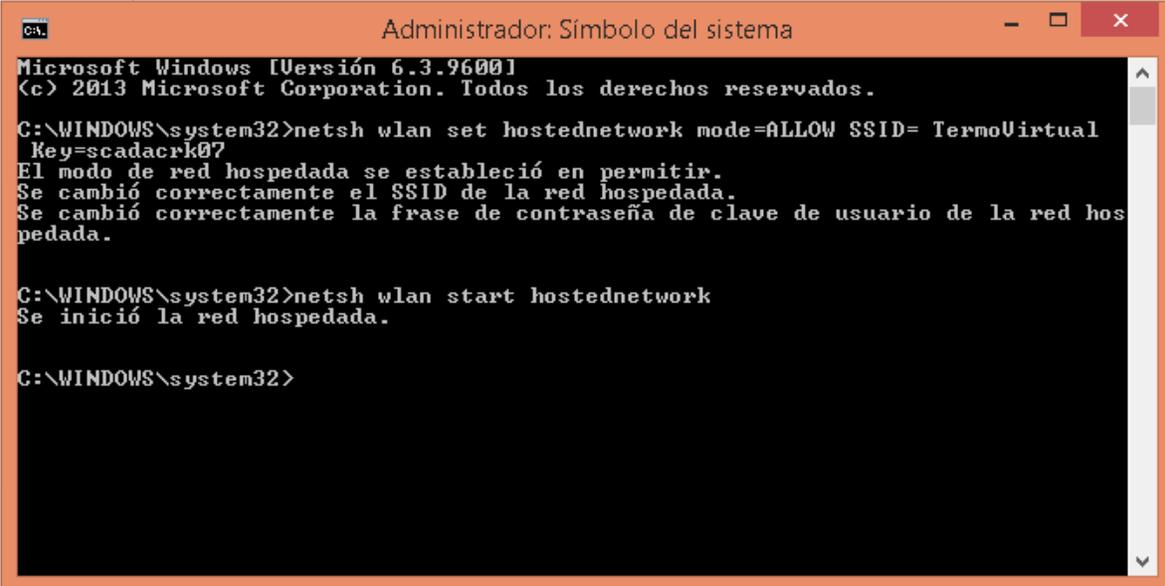
Las DAQs permiten la comunicación WI-FI mediante el chasis9191, pero necesitan que exista una red inalámbrica disponible para conectarse, se puede trabajar con la red Wi Fi usada para el internet pero necesitamos forzosamente estar conectado siempre a través de un router generando la desventaja de depender de un router externo forzosamente y en ocasiones la red se vuelve inestable, además de que un router asigna una dirección IP dinámica y para aplicaciones de instrumentación o redes de comunicación se necesita una IP estática.

Para poder realizar la conexión Wi Fi sin necesidad de depender de un router, utilizaremos el tipo de red AD-HOC o red hospedada, la cual es un punto de acceso temporal que se crea usando la tarjeta inalámbrica de la laptop, esta red permite que otros dispositivos inalámbricos en este caso las DAQs se conecten a ella y compartan información.

Se le puede asignar a esta red una IP Estática necesaria para una comunicación estable, una dirección IP se representa mediante un número binario de 32 bits.

11001000.00100100.01111111.00101000 192.168.255.255

En notación decimal se divide en 4 octetos, cada octeto puede tomar un valor entre 0 y 255, los tres primeros octetos se asignan para identificar la red y el último está asignado para los dispositivos, en Windows 8 no se puede crear desde panel de control una red hospedada por lo que es necesario crearla en línea de comandos CMD. [34]



```
Administrador: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\WINDOWS\system32>netsh wlan set hostednetwork mode=ALLOW SSID= TermoVirtual
Key=scadacrK07
El modo de red hospedada se estableció en permitir.
Se cambió correctamente el SSID de la red hospedada.
Se cambió correctamente la frase de contraseña de clave de usuario de la red hos
pedada.

C:\WINDOWS\system32>netsh wlan start hostednetwork
Se inició la red hospedada.

C:\WINDOWS\system32>
```

Figura 4.2.1.1 Comandos para crear red hospedada

Estos fueron los comandos para crear la red hospedada, en la siguiente línea se declara al nombre de la red y la contraseña que tendrá

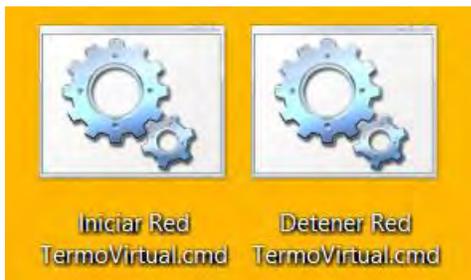
```
C:\Windows\system32> netsh wlan set hostednetwork mode=ALLOW SSID= "Nombre de la Red" key= "contraseña". [34]
```

El siguiente comando se utiliza para iniciar la red hospedada

```
C: \Windows\system32>netsh wlan start hostednetwork. [34]
```

Este comando siguiente detiene la red después de utilizarse

```
C: \Windows\system32>netsh wlan stop hostednetwork. [34]
```



Para poder facilitar la creación de la red y su configuración, se creó un ejecutable con las anteriores instrucciones para que al ejecutarlo automáticamente se iniciara la red hospedada de esta manera iniciarla y detenerla de una manera que para el usuario no sea complicado, y sobre todo sea fácil de manejar y utilizarla rápidamente cuando sea necesaria. Se crearon dos ejecutables el primero para iniciar la red virtual y el segundo para desactivarla.

Figura 4.2.1.2 Ejecutables para iniciar o detener la red hospedada



Figura 4.2.1.3 Iniciando red hospedada

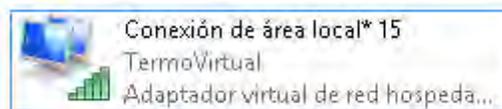


Figura 4.2.1.4 red hospedada TermoVirtual

Entonces al ejecutar como administrador el archivo.cmd iniciar red TermoVirtual, al presionar una tecla se inicia automáticamente la red hospedada y podemos verificar su existencia en la configuración de adaptadores de red.

4.2.2. Configuración de las DAQs en el NI MAX

Una vez iniciada la red hospedada se debe configurar para usarse con una IP estática, se le asigna la dirección **192.168.1.100**, esta dirección IP es la que tendrá la laptop, el cuarto octeto se configura en 100, los ceros significan que esta es la PC principal en la red, las DAQs que se conecten a esta red deberán continuar con la numeración en el último octeto **101** y **102**. Se configura la máscara de subred como 255, 255, 255,0.

El MAX (Measurement and Automation Explorer,) es una aplicación de National Instruments donde se instala y se gestiona todo lo relacionado con el hardware de adquisición de datos.



Figura 4.2.2.1 Asignación de IP Estática

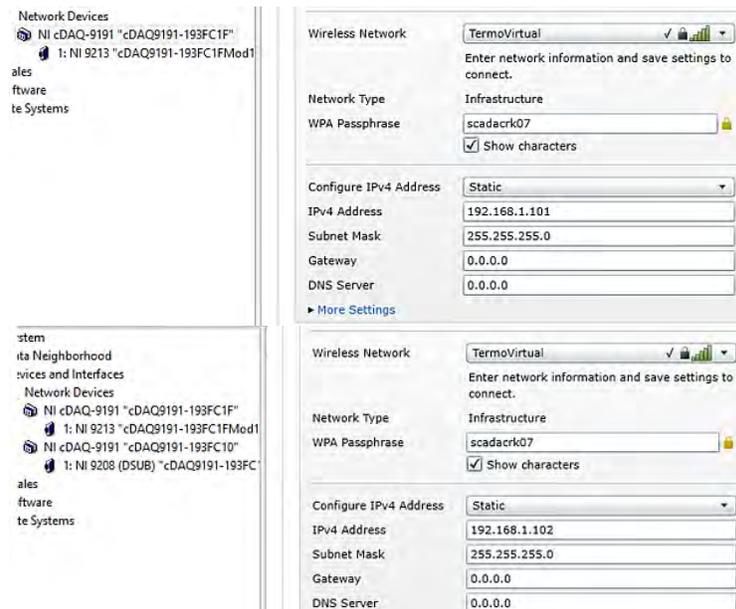


Figura 4.2.2.2 Asignación de IP para cada DAQ

En esta ventana de configuración se conectan las DAQs a la red hospedada TermoVirtual y se les asigna una dirección IP para conectarse vía inalámbrica. Para la DAQ 9213 se le asigno la IP **192.168.1.101** el último octeto continuo con la numeración establecida en el adaptador de red, para la DAQ 9208 se le asigno la IP **192.168.1.102** de igual forma continuando la numeración e indicando que es el segundo dispositivo conectado, es posible conectar simultáneamente 2 DAQs a la red hospedada y tener comunicación con ambos dispositivos en la figura se muestra la configuración de ambas DAQs en el MAX y se observan los dos dispositivos conectados y activos. National Instruments utiliza para conectar dos o más dispositivos DAQs a la PC un módulo adicional llamado Compact RIO, pero esto requiere un gasto adicional y demasiado elevado, por esta razón se aplicó una solución más factible y eficaz, utilizando una red hospedada configurada como punto de acceso múltiple para simultáneamente conectar dos chasis Wi-Fi cada una asignada en el MAX con una IP diferente.

4.2.3. Configuración de las DAQs en el DAQ assistant



Figura 4.2.3.1 DAQs conectadas vía WI Fi con sus VI Express

Una vez conectadas las dos DAQs simultáneamente a la misma red, podemos empezar a procesar las señales adquiridas dentro del software, en la interfaz principal se agrega un sub VI express llamado DAQ Assistant, que permite configurar las DAQs y controlar cada aspecto

relacionado con la adquisición de datos, permite seleccionar si se desea adquirir o generar señales, seleccionar si es una señal analógica o digital, seleccionar el tipo de variable si es temperatura, corriente o frecuencia, si se selecciona para adquirir temperaturas nos permite seleccionar el hardware con el que se adquiere la señal y el tipo de sensor que se va a utilizar.

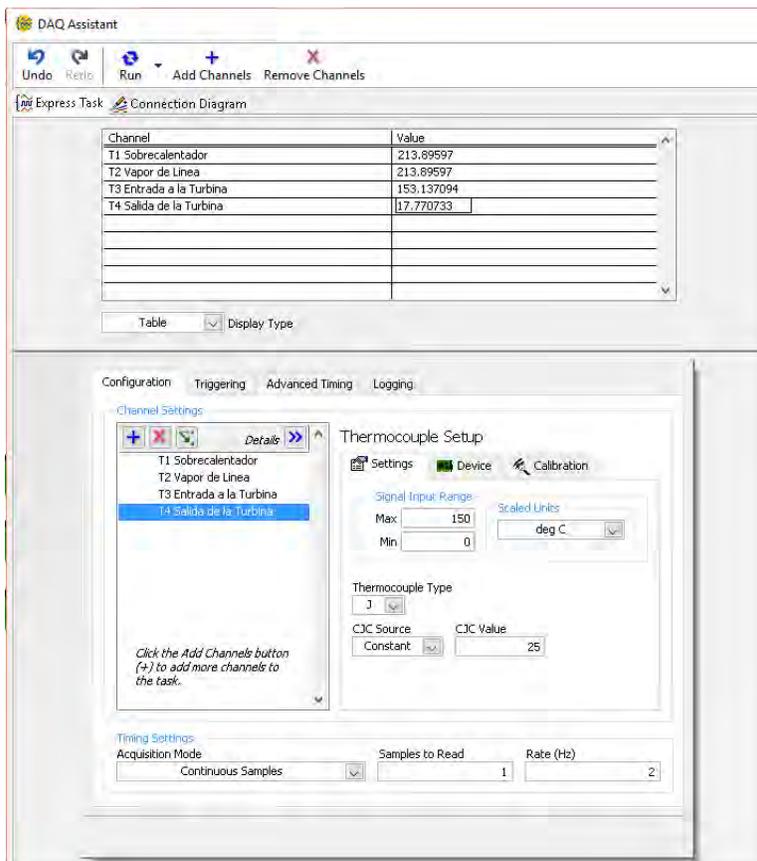


Figura 4.2.3.2 Configuraciones en DAQ Assistant para 9213

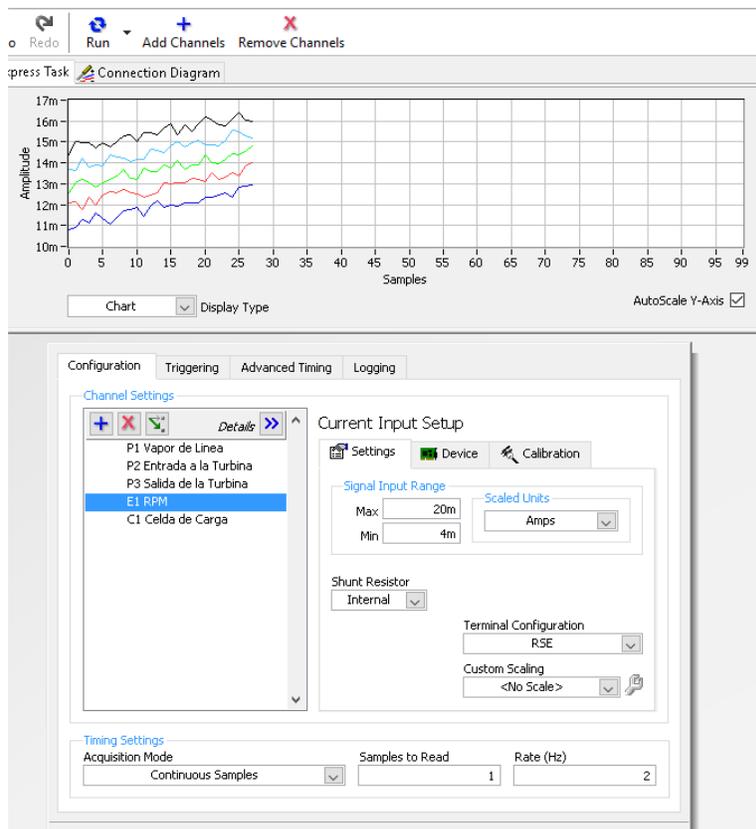
Una vez seleccionada la DAQ 9213 para termopares, se seleccionan los canales donde están conectados los sensores, se les asignan etiquetas se configuran los rangos de medición, y el tipo de adquisición, al seleccionar la opción Continuous Samples se estará obteniendo muestras continuamente, en Sample to Read se indica el número de muestras a leer y en Rate la frecuencia de muestreo para este caso se adquiere dos muestras por segundo, en la parte superior se pueden observar el comportamiento de las variables adquiridas.

Esta DAQ incorpora compensación de unión fría CJC para eliminar los errores causados por la conexión física

del sensor al instrumento. El contacto de dos metales distintos con dos uniones a diferentes temperaturas una junta fría y la otra caliente crean una diferencia de potencial, este es el principio sobre el cual los termopares están diseñados y, como tal, Cada combinación de metal produce un voltaje que está relacionado a la temperatura de la unión y puede ser caracterizada matemáticamente el contacto de los diferentes metales del termopar con el borne terminal debe eliminarse del cálculo. El calor disipado por el modulo cerca de una fuente de calor puede causar errores en las mediciones del termopar calentando las terminales del NI 9213 a una temperatura diferente de la junta de unión fría del sensor, el Gradiente térmico en los bornes puede causar errores de Exactitud y afectar la precisión de los canales, en las ecuaciones 4.2.3.I se muestra el proceso de cálculos de la junta fría, junta caliente y la diferencia de voltaje.

En un sistema de medición, simplemente al conectar un termopar a una DAQ, en los bornes de conexión se añadirá otra unión de metales llamada punta fría y esto puede modificar la medición. La compensación por punta fría Cold Junction Compensation remueve el efecto del voltaje generado por esta unión fría para una medición más precisa de temperatura, [35] esta DAQ tiene incluido en su acondicionamiento de señal una terminal CJC, la cual es una referencia de temperatura en la tarjeta utilizada para calcular y remover voltajes no deseados, el CJC también puede configurarse como un valor constante dentro de la DAQ, en este DAQ algunos canales se configuraron de esta forma.

El propósito del sensor CJC es medir la temperatura ambiente en el bloque terminal para tomar en cuenta a que temperatura se encuentra las terminales de su transductor cuando hacen contacto con su bloque terminal, si el sensor CJC se calienta no debería de afectar a la medición.



$$V = \alpha (T_1 - T_2) \quad (4.2.3.1)$$

$$V_1 = \alpha T_1, \quad V_2 = \alpha T_2 (\text{junta fria}).$$

$$V_1 = 54.41 \times 10^{-6} * (300) = 16.32 \text{mV}$$

$$V_2 = 51.08 \times 10^{-6} * (25) = 1.277 \text{mV}$$

$$V = 16.32 \text{m} - 1.277 \text{m} = 15.043 \text{mV}$$

De igual manera se agrega la segunda DAQ 9208 para señales de corriente, se seleccionan los canales donde están conectados los sensores se les asignan etiquetas y se establece el rango de medición entre 4 a 20mA, se establece una velocidad de muestreo de dos muestras por segundo procesando muestras continuas, en la parte superior se observa la evolución de las variables adquiridas de los sensores y transductores.

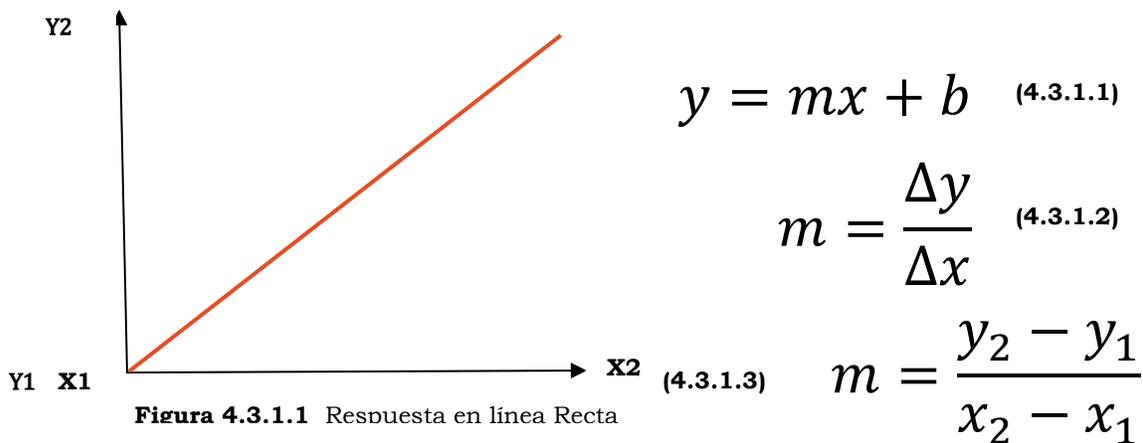
Figura 4.2.3.3 Configuraciones en DAO Assistant para 9208

4.3. Cálculos realizados para procesar las señales de los sensores.

Después de configurar el Hardware de Adquisición de datos DAQ, se procede a procesar las señales de los sensores, estas señales son variaciones de corriente y es necesario escalarlas para convertirlas en la variable que se desea medir ya sea Presión, Velocidad o Fuerza.

4.3.1. Linealidad en los Sensores y ecuaciones

Cuando un sensor tiene una salida lineal, se refiere a que la curva característica ideal de un transductor es una línea recta a través de un punto cero y el valor máximo o fondo de la escala. Existe también una constante de proporcionalidad que también se le puede llamar ganancia o pendiente, también se puede ajustar la curva según su punto de origen y a esto se le llama offset.



$$f(x) = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} (x - x_0) + f(x_0) \quad (4.3.1.4)$$

$$y = \frac{\Delta y}{\Delta x} x + x_0 \quad (4.3.1.5)$$

Básicamente las escalas de los sensores se realizan mediante la aplicación de la ecuación de la recta. La pendiente sería la constante de proporcionalidad que permite conocer la relación entre el incremento de la variable física que deseamos conocer y el incremento de la señal eléctrica de corriente de un sensor, para el caso de estos sensores que no inician en cero ya que su punto más bajo son 4mA es necesario hacer un ajuste a la curva mediante un offset $f(x_0)$ u offset b.

Cálculos para Transductores de Presión Setra 522

Primero se realizó el cálculo de la constante de proporcionalidad, pendiente o ganancia, Δy sería el rango deseado de Presión que se desea conocer 0 a 150 PSI, siendo $f(x_1) = 0$ y $f(x_2) = 150psi$, Δx sería el rango de la señal de salida 4 a 20mA, siendo $x_1 = 4mA$ y $x_2 = 20mA$.

$$m = \frac{\text{rango deseado}}{\text{rango de señal}} = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}, m = \frac{150 - 0}{(20 - 4) \times 10^{-3}} = 9375 \frac{\text{PSI}}{\text{mA}}$$

Lo siguiente sería calcular el valor del offset b , este transductor envía 4mA cuando la presión es 0, esto es debido a una norma que permite conocer si el transductor está dañado o no, ya que en caso de haber 0mA de salida significaría un problema físico en el funcionamiento del sensor, lo normal es tener 4mA. Para calcular este valor se considera en $f(0)$ el valor mínimo de presión que debe medir el transductor 0, y en x_1 el valor mínimo de la señal de salida 4mA y la pendiente m antes calculada.

$$f(0) = m(x_1) + f(x_0) \quad (4.3.1.6)$$

$$f(x_0) = f(0) - m(x_1), \quad f(x_0) = b \quad (4.3.1.7)$$

De esta manera solo se despeja $f(x_0)$ de la ecuación y se sustituyen los valores para calcular el offset

$$b = 0 - 9375(4 \times 10^{-3}) = -37.5 \quad (4.3.1.8)$$

Quedando finalmente las ecuaciones que permitirán medir la Presión del Vapor de línea y_{P1} proporcional a la señal del sensor x_{P1} y la Entrada a la Turbina y_{P2} proporcional al sensor x_{P2} .

$$y_{P1} = 9375x_{P1} - 37.5 \quad y_{P2} = 9375x_{P2} - 37.5 \quad (4.3.1.9)$$

Es necesario convertir de PSI a Bares ya que es como se desea visualizar la Presión en la Interfaz, por eso se multiplica la salida por una constante de conversión.

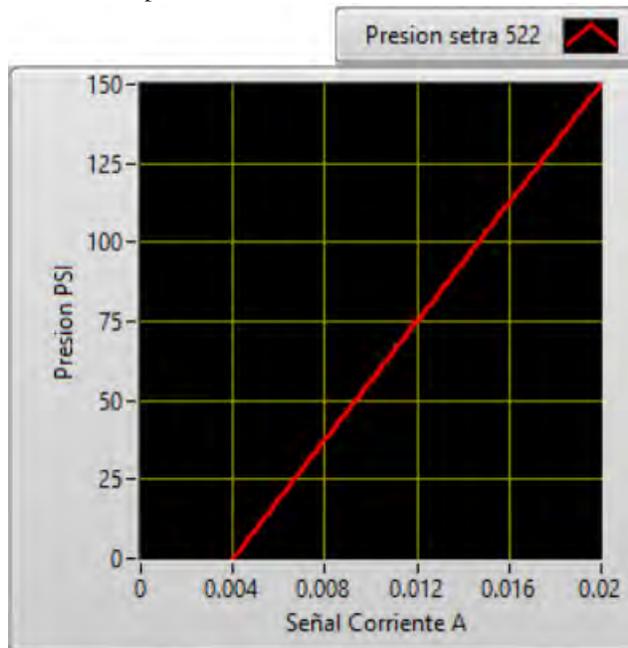


Figura 4.3.1.2
respuesta escada
del sensor setra
522

$$y_{P1} * (0.06895) = \text{Presión en Bar}$$

$$y_{P2} * (0.06895) = \text{Presión en Bar}$$

Cálculos para Transductor de Presión Setra 209

Prácticamente se realizaron los mismos cálculos para el sensor de presión setra 209 con la diferencia de que el rango de presiones se tomaría negativo debido a que mide la presión vacuo métrica, el rango de este sensor va de 0 a -14.7 PSI y tiene una señal de salida de 4 a 20mA.

$$m = \frac{\text{rango deseado}}{\text{rango de señal}} = \frac{f(x_2)-f(x_1)}{x_2-x_1}, \quad m = \frac{-14.7-0}{(20-4) \times 10^{-3}} = -918.75 \frac{\text{PSI}}{\text{mA}}$$

Por lo tanto la pendiente de la recta será negativa, el Δx es positivo mientras que Δy es negativo.

$$f(x_0) = f(0) - m(x_1), \quad f(x_0) = b \quad (4.3.1.10)$$

Y en este caso al calcular el offset b tendrá como resultado un signo positivo.

$$b = 0 - [-918.75(4 \times 10^{-3})] = 3.675 \quad (4.3.1.11)$$

Quedando finalmente la ecuación que permitirán medir la Presión vacuo métrica y_{p3} de la bomba de vacío a la Salida de la Turbina proporcional al sensor x_{p3} .

$$y_{p3} = -918.75x_{p3} + 3.675 \quad (4.3.1.12)$$

Es necesario convertir de PSI a Bares ya que es como se desea visualizar la Presión en la Interfaz, por eso se multiplica la salida por una constante de conversión.

$$y_{p3} * (0.06895) = \text{Presion en Bar}$$

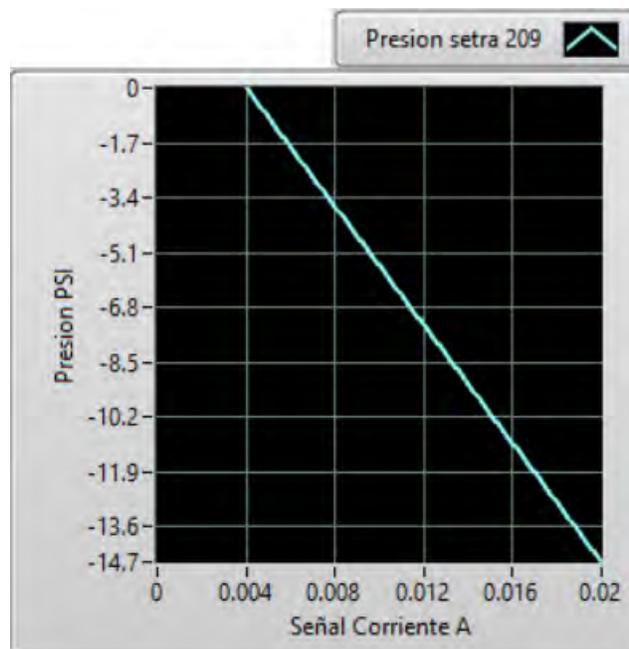


Figura 4.3.1.3
respuesta escalada
del sensor setra
209

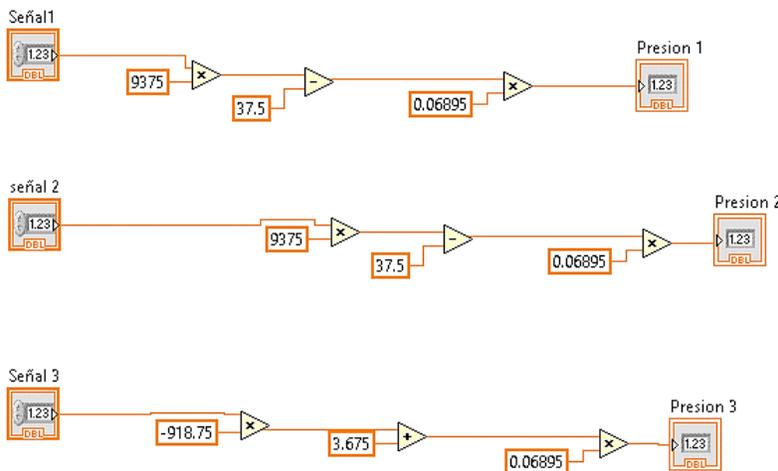


Figura 4.3.1.4 Escalas de sensores de presión en diagrama de bloques

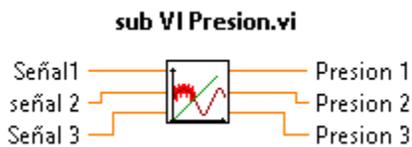


Figura 4.3.1.5 Sub VI presión

Estos bloques se guardaron en un Sub VI el cual es un programa que se puede usar dentro de otro programa principal. En este bloque entran las señales de las DAQs correspondientes a los sensores y salen las mediciones de presión.

Cálculos para Celda de Carga y Transductor TLB

Debido a que la celda de carga RL20000-75B genera una señal de variación de voltaje entre $\pm 30\text{mV}$ que el Hardware de adquisición de datos DAQ 9208 mide señales con variación de corriente es necesario utilizar un transductor que permita la conversión de voltaje a corriente, este transductor tuvo que ser calibrado mediante el uso de los botones pulsadores del mismo transductor y accediendo a los menús internos en la memoria, primero se introdujo el valor de la sensibilidad de la celda de carga



Figura 4.3.1.6 proceso de calibración para el transductor TLB Laumas

3mV/V, se ajustó el fondo de la escala con el valor 34kg de capacidad máxima y una vez que ya estaba instalada la celda en el generador con los elementos de sujeción, tornillos y el peso del brazo de palanca se calibro el cero del sistema.

Después se selecciona el tipo

de señal de salida analógica de 4 a 20mA se consideró de la siguiente manera para 0 kg 4mA y debido a que la turbina comprime la celda de carga se considera la carga negativa -34kg y así se configuro dentro de la calibración del transductor, de todos modos en la interfaz de LabVIEW se visualizara la carga como positiva ya que el signo solo indica el sentido de la fuerza.

$$m = \frac{\text{rango deseado}}{\text{rango de señal}} = \frac{f(x_2)-f(x_1)}{x_2-x_1}, \quad m = \frac{75-0}{(20-4) \times 10^{-3}} = 4687.5 \frac{\text{Lb}}{\text{mA}}$$

Con los datos anteriores se calculó la pendiente de proporcionalidad y después el offset de la recta

$$f(x_0) = f(0) - m(x_1), \quad f(x_0) = b \quad (4.3.1.13)$$

$$b = 0 - [4687.5(20 \times 10^{-3})] = -18.75 \quad (4.3.1.14)$$

Finalmente quedando la ecuación de la escala para la celda y el transductor de la siguiente manera

$$y_{C1} = 4687.5x_C - 18.75 \quad (4.3.1.15)$$

Es necesario convertir de Lb a Newton ya que es como se desea visualizar la Fuerza en la Interfaz, por eso se multiplica la salida por una constante de conversión.

$$y_{C1} * (4.4488) = \text{Fuerza en Newtons}$$

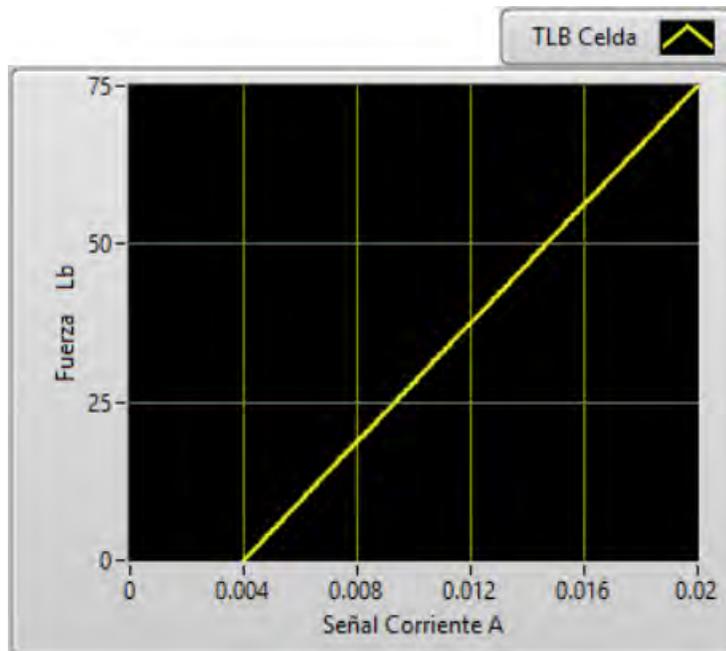


Figura 4.3.1.7 Respuesta escalada de la celda de carga y transductor

4.3.2. Transductor no lineal con salida Logaritmica

Cálculos para Encoder y Transductor de señal

El Encoder E50S-250-3-T-24 genera un tren de pulsos digitales, tiene un rango de 0 a 5000 rpm, cuenta con una resolución de 250 pulsos por cada revolución. Cuando se incrementa la velocidad de rotación que se desea medir, se incrementa la frecuencia de la señal digital, la frecuencia máxima entregada por el encoder es de 20.833 kHz, entonces en el caso de este encoder la variable que medimos es la frecuencia de la señal cuadrada ya que es proporcional a la velocidad angular de rotación.

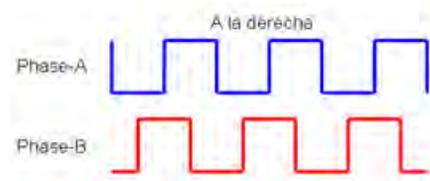


Figura 4.3.2.1 señal cuadrada del Encoder

$$\Delta f \propto \Delta \omega \quad (4.3.2.1)$$

Debido a que el Hardware de adquisición de datos DAQ 9208 mide señales con variación de corriente y no está diseñado para medir frecuencia es necesario un transductor que permita una conversión de frecuencia a corriente, esta conversión se realiza con el transductor MCR-C-U-I-4-DC, este transductor procesa una señal de entrada de 0 a 10V que corresponden al LOW y HIGH de la señal digital proveniente del encoder, el transductor percibe el tiempo que se mantiene en 10 V o HIGH la señal del encoder, cuando la frecuencia de pulsos es muy grande el tiempo en que se mantiene en el estado HIGH es muy pequeño y la salida estará cercana a 4mA y cuando la frecuencia es muy baja y se mantiene mucho más tiempo en el estado HIGH, la salida es más cercana a 20mA. De igual forma si no hay frecuencia o velocidad de rotación el transductor envía a la salida para LOW 4mA y para HIGH 22mA, solo cuando existe una variación de frecuencia el transductor entrega valores entre 4 y 20mA, esta señal es una curva logarítmica, se verifico la respuesta del transductor tomando una medición con la DAQ mientras la turbina aceleraba como se muestra en la imagen podemos decir que el incremento de corriente en la señal de salida del transductor es inversamente proporcional a la frecuencia del encoder.

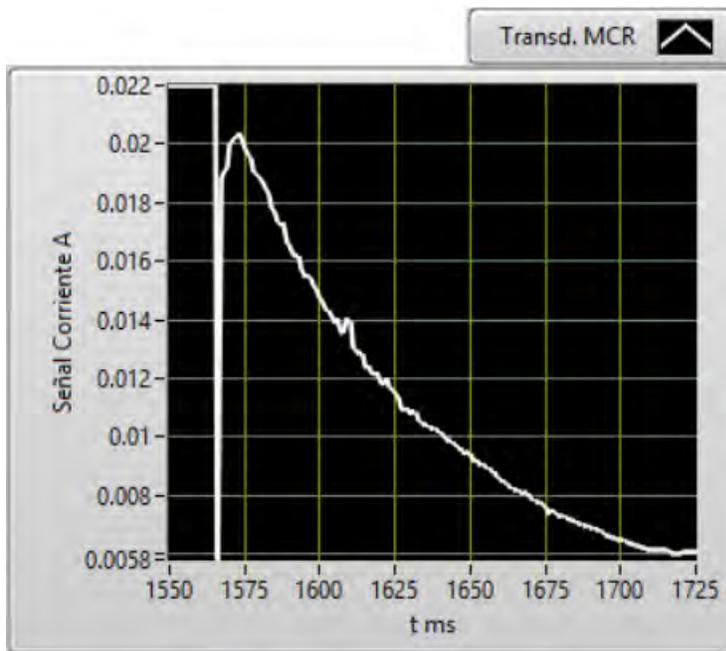


Figura 4.3.2.2 curva característica de respuesta del Transductor MCR

(4.3.2.2)

$$\Delta f \propto \frac{1}{\Delta i}$$

La composición interna del transductor con filtros pasa altas, bajas y comparadores hacen posible una respuesta logarítmica ya que un filtro activo realiza la integración de la corriente de salida del transductor en función del tiempo de duración del pulso HIGH, y multiplicados por el inverso del periodo de la señal de entrada, correspondiente a la frecuencia de la señal cuadrada del encoder como se muestra en la ecuación.

$$V(t) = \frac{1}{T} \int R_l \cdot i(t) dt \quad V(t) = f_{rec} \int_{t_1}^{t_2} R_l \cdot i(t) dt \quad (4.3.2.3)$$

Al evaluar la integral en un intervalo de tiempo de duración del pulso HIGH, desde un t_1 a un t_2 obtenemos una diferencia de corriente en función del tiempo que podemos llamar Δi , de la ecuación ya evaluada despejamos la frecuencia y se puede comprobar que la corriente de salida es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal de entrada

$$f_{rec} = \frac{V}{R_l} \left(\frac{1}{i(t_2) - i(t_1)} \right) \quad f_{rec} = C_1 \left(\frac{1}{\Delta i} \right) + C_0 \quad (4.3.2.4)$$

Debido a que la hoja de datos del transductor No especificaba la ecuación de la curva, se procedió a calcularla y obtenerla mediante la adquisición de 5 muestras de corriente del transductor a diferentes revoluciones de la turbina, se sabe que a 4.5mA el transductor entregaría la máxima frecuencia 20.833 KHz y a 21mA el transductor entregara la mínima frecuencia 0, se conoce que a 150 V el generador tiene una velocidad de 2650 RPM que corresponde a 10.425KHz y el transductor entregaba un valor de corriente a 6.63mA, se tomó otra muestra utilizando un estroboscopio a 2.416 KHz correspondiente a 14.093mA y a 15.56mA se obtuvo con un tacómetro 1.875KHz.

Como se mencionó anteriormente el incremento de corriente es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que se tomara de base un polinomio con exponente negativo que genera una curva logarítmica, el polinomio tiene que ser de 4to grado ya que se tienen 5 raíces correspondientes a los valores medidos de corriente y se igualan a la frecuencia medida para ese instante por lo que se tendrá un sistema de 5 ecuaciones y 5 incógnitas.

Se evalúa cada ecuación para el valor de corriente correspondiente a cada valor de frecuencia

$$f(x) = \frac{\alpha_4}{x^4} + \frac{\alpha_3}{x^3} + \frac{\alpha_2}{x^2} + \frac{\alpha_1}{x} + \alpha_0 \quad (4.3.2.5)$$

$x^{-4}\alpha_4 + x^{-3}\alpha_3 + x^{-2}\alpha_2 + x^{-1}\alpha_1 + \alpha_0 = 20.833$	$\begin{bmatrix} 2438642 & 10973.9 & 49.382 & 0.222 & 0.001 \\ 515051 & 3418.91 & 22.694 & 0.15 & 0.001 \\ 25372.0 & 357.264 & 5.0349 & 0.07 & 0.001 \\ 17059.3 & 265.442 & 4.1302 & 0.06 & 0.001 \\ 5141.89 & 107.97 & 2.267 & 0.047 & 0.001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 20.833 \\ 10.425 \\ 2.416 \\ 1.875 \\ 0 \end{bmatrix}$
$x^{-4}\alpha_4 + x^{-3}\alpha_3 + x^{-2}\alpha_2 + x^{-1}\alpha_1 + \alpha_0 = 10.425$	
$x^{-4}\alpha_4 + x^{-3}\alpha_3 + x^{-2}\alpha_2 + x^{-1}\alpha_1 + \alpha_0 = 2.416$	
$x^{-4}\alpha_4 + x^{-3}\alpha_3 + x^{-2}\alpha_2 + x^{-1}\alpha_1 + \alpha_0 = 1.875$	
$x^{-4}\alpha_4 + x^{-3}\alpha_3 + x^{-2}\alpha_2 + x^{-1}\alpha_1 + \alpha_0 = 0.000$	

Al resolver el sistema de ecuaciones de la matriz 5x5 se obtienen los parámetros $\alpha_4, \alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$ y α_0 y se obtiene la siguiente ecuación para obtener la frecuencia del encoder en función de la corriente.

$$(4.3.2.6) \quad f_{rec}(x) = -\frac{0.000167}{x^4} + \frac{0.08269}{x^3} - \frac{13.43}{x^2} + \frac{933.455}{x} - 21492$$

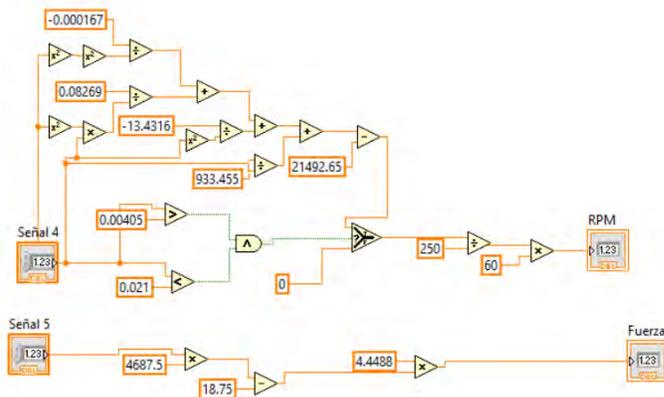


Figura 4.3.2.3 Diagrama de bloques para transductores

Y para poder visualizar las RPM de la Turbina y el Generador se realiza una conversión donde se divide la frecuencia entre las resolución de pulsos del encoder y se multiplica por 60

(4.3.2.7)

$$RPM = \frac{frec(x)}{250} (60)$$

Todos estos cálculos para el encoder se agregaron en un diagrama de bloques para escalar la señal proveniente del transductor, se añadieron dos comparadores para no mostrar mediciones erróneas cuando el encoder

solo envié un pulso LOW o HIGH por eso se toman los topes de la señal para enviar un cero, si hay velocidad en la turbina estas mediciones estarán entre estos límites y será procesada la variable, se añade también el diagrama de bloques de la ecuación para el Transductor de la celda de carga, y finalmente se guardan en un Sub VI

Sub VI Encoder y Celda vi.vi



Figura 4.3.2.4 Sub VI Encoder y celda

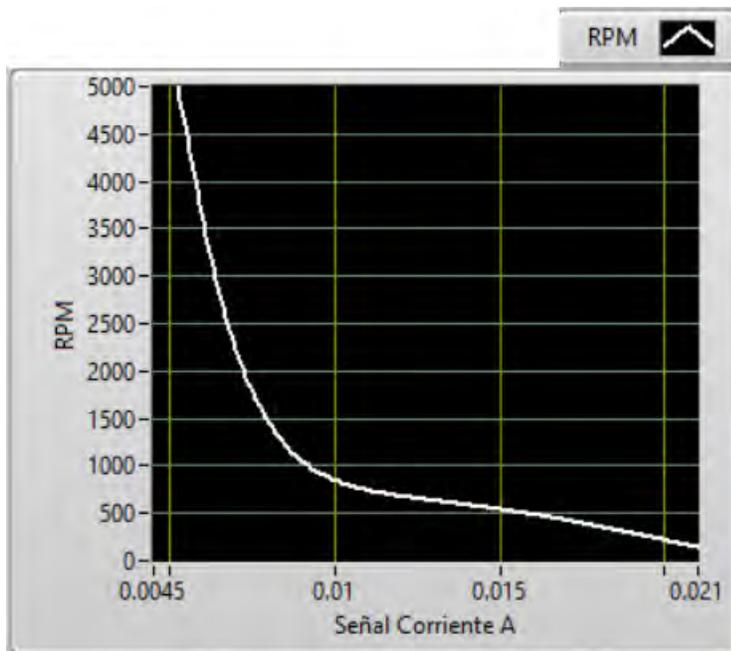


Figura 4.3.2.5 Curva característica de respuesta para transductor de Encoder

Quedando de esta manera la curva logarítmica corriente-RPM correspondiente a la señal del transductor del Encoder, se corroboraron las mediciones con esta nueva ecuación y dieron resultados satisfactorios quedando así funcional el encoder para aplicarse a las prácticas de la turbina.

4.4. Cálculos para visualizar Voltaje y Corriente del Generador.

Como una forma adicional de conocer la potencia efectiva de la turbina y la potencia eléctrica se desarrolló otro Sub VI con las ecuaciones para cálculo de potencia, y se realiza una medición indirecta, una medición indirecta es cuando una variable se obtiene mediante cálculos en este caso la potencia, Voltaje y Corriente, a partir de otras variables que son medidas directamente como la velocidad y la fuerza de la turbina.

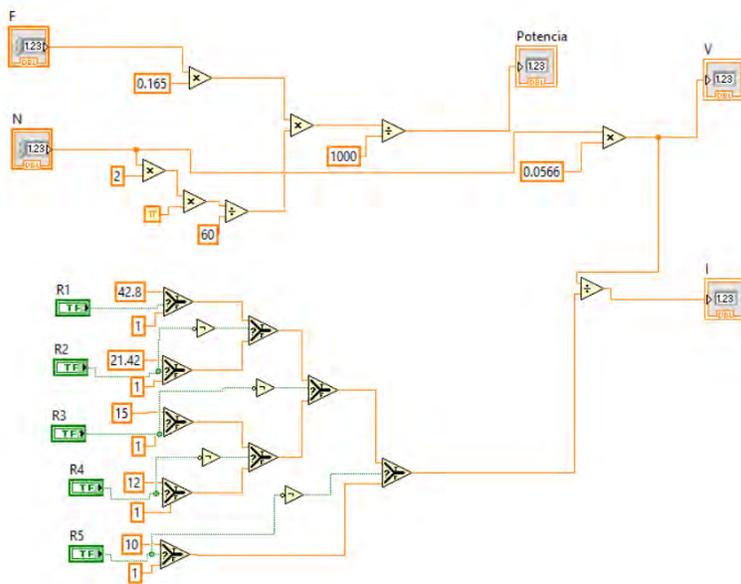
$$W_{pot\ efectiva} = T\omega = \frac{0.165 \frac{2\pi}{60} (RPM)(F)}{1000} [KWatts] \quad (4.4.1)$$

$$W_{pot\ Electrica} = VI [Watts] \quad T\omega = VI [Watts] \quad (4.4.2)$$

Se conoce que las RPM de la turbina y el Voltaje entregado son directamente proporcionales entre si debido a que despreciando perdidas podemos igualar la potencia mecánica y la eléctrica, entonces el torque por la velocidad angular es igual al voltaje por la corriente, para calcular la constante de proporcionalidad entre el voltaje y RPM se tomaron varias mediciones con multímetro del Voltaje y también de las RPM con el encoder y se calculó una constante de proporcionalidad con regla de tres de igual forma debido a que el generador entrega magnitudes de corriente arriba de los 20 A es muy peligroso medir la corriente directamente por esta razón se optó mejor por calcularla conociendo el valor de las resistencias que se activan manualmente y secuencialmente.

$$V(t) = 0.0566 * x_{rpm} \quad I = \frac{V}{R} \quad R1 = 42.8 [\Omega] \quad R2 = 21.42[\Omega] \quad R3 = 15[\Omega]$$

$$R4 = 12[\Omega] \quad , R5 = 10[\Omega]$$



De igual forma se desarrolló un Sub VI con las ecuaciones de potencia al freno y los valores de las resistencias, las cuales se pueden activar según se desee mediante cinco botones correspondientes modificando para cada resistencia el valor de la corriente del generador. Esta configuración se realizó con selectores y operadores booleanos.

Figura 4.4.1 Diagrama de bloques para cálculo de potencia y activación de resistencias de carga

4.5. Diagrama de Bloques.

LabVIEW es un entorno de programación gráfica, las funciones están definidas por bloques, también existen los sub Vi que son pequeños programas dentro de otros programas, o los vis Express que son sub vi definidos por National Instruments para gestionar aplicaciones especiales

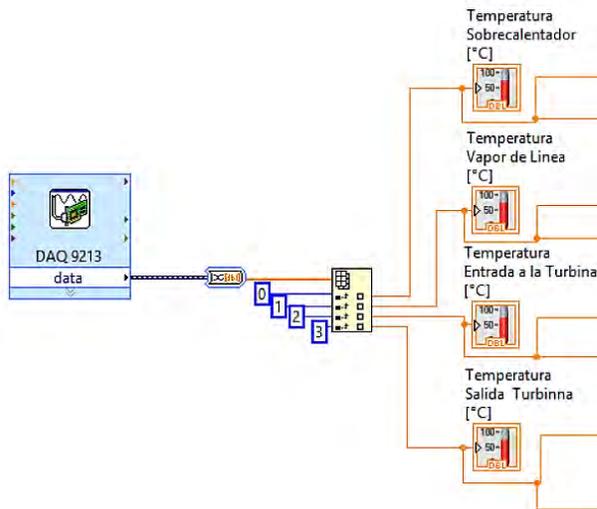


Figura 4.5.1 Diagrama de bloques DAQ 9213

El bloque express DAQ assistant configura las señales proveniente de la DAQ, en la figura se muestra la información que manda la DAQ9213 se realiza una conversión con una función que permite convertir datos dinámicos a un arreglo de escalares numéricos hecho con las señales de temperaturas medidas en los canales usados de la DAQ, después se conecta la función index array, que permite seleccionar valores de un arreglo, se indica con un numero constante la posición del valor deseado en el arreglo y a la salida de la función se obtienen las señales de temperatura correspondientes a esa posición, para cada señal de temperatura se conecta un indicador numérico en forma de termómetro.

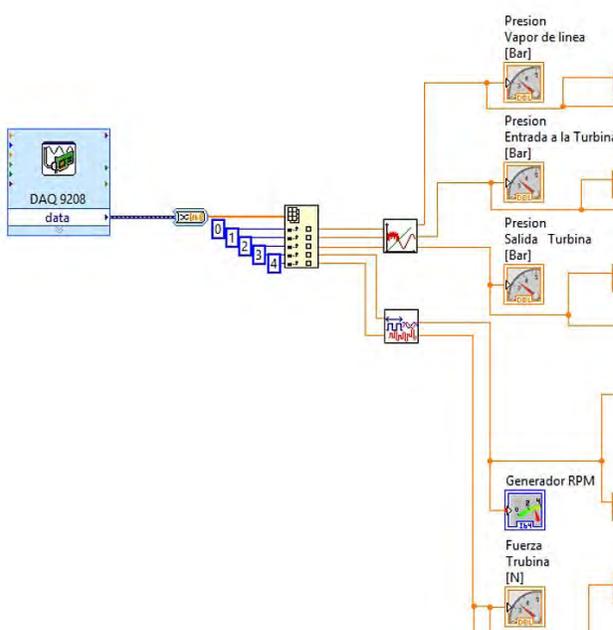
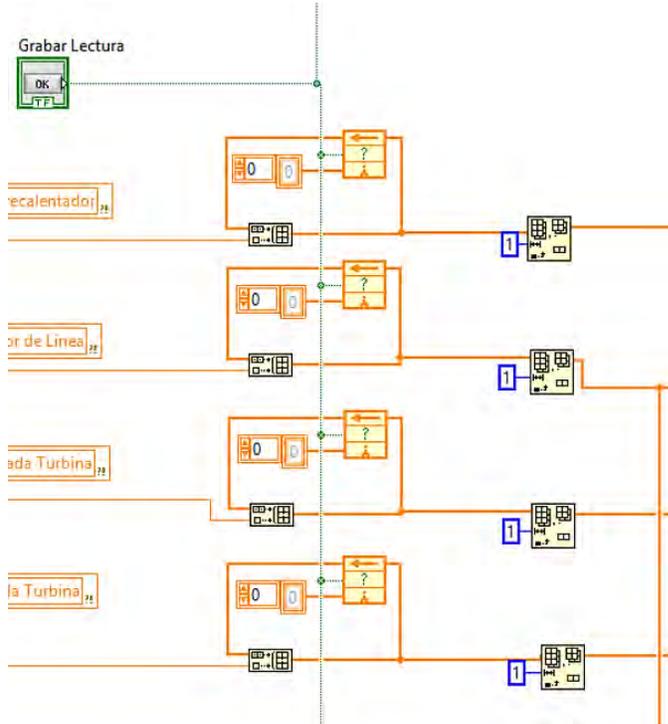


Figura 4.5.2 Diagrama de bloques DAQ 9208

En la figura se muestra como se procesan las señales de la DAQ9208, igualmente se realiza una conversión de datos dinámicos a un arreglo de escalares numéricos, se distribuyen las señales mediante el index array se envían las señales de los tres transductores de presión al sub vi creado para la conversión de las señales en escalas de presiones, para cada señal de presión se conectan indicadores numéricos en forma de manómetro de aguja, de igual manera del index array se seleccionan las señales correspondiente a el Encoder y la Celda de carga y se envían al sub vi que realiza las escalas y la conversión a rpm y Fuerza, las rpm se visualizan mediante un indicador de aguja que procesa datos enteros a 64 bits y la fuerza es visualizada en un indicador de aguja numérico.

Es necesario poder capturar datos del proceso y registrarlos para esto se utilizan las funciones Feedback



node o nodo de realimentación la cual permite guardar el valor de una salida y retroalimentarlo en la siguiente iteración, el Feedback node tiene condiciones iniciales ya que cada arreglo es inicializado en 0, la función Feedback node es activada mediante un valor booleano TRUE, y al recibir el pulso registra un dato en ese instante, este valor es retroalimentado y guardado en un arreglo, este arreglo va creciendo cada vez que el valor del booleano sea TRUE, este arreglo es enviado a la función delete from array que permite borrar un elemento del arreglo, y se borra el elemento que no sea constante esto se hace para mantener el arreglo únicamente con los valores deseado que fueron capturados.

Figura 4.5.3 Diagrama de bloques para capturar datos

Se envían las señales escaladas de rpm y fuerza al Sub VI que calcula los voltajes, corrientes y potencias, para en la salida poder visualizar el voltaje y corriente en indicadores de barra, también la potencia calculada es visualizada, además se añaden los botones pulsadores que activaran los valores de resistencias.

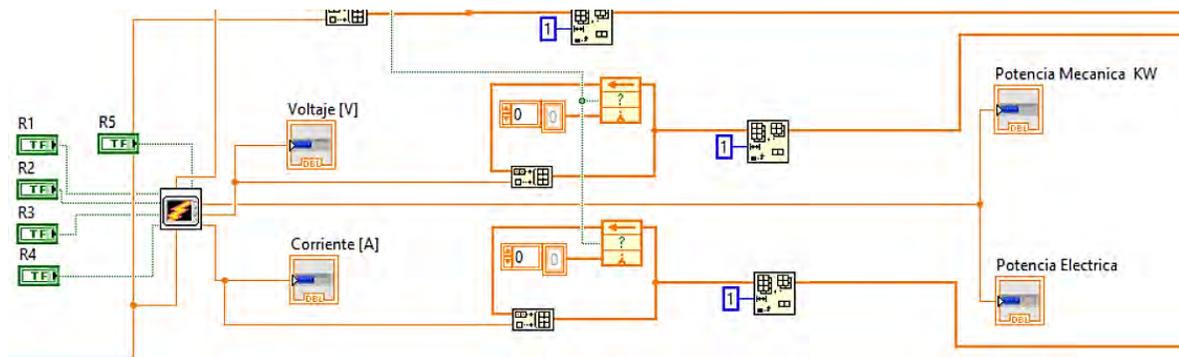


Figura 4.5.4 Diagrama de bloques para visualizar potencias, voltaje y corriente

Los arreglos con las variables capturadas de cada sensor son enviados a dos Sub VI ,s que se encargan de escribir los valores en una tabla de Excel, se tienen dos opciones un botón deslizante selecciona el Sub VI que escribirá los datos, uno permite hacer un reporte en un formato y el otro escribe los datos en una tabla de cálculo de propiedades de vapor, cuando se usa el Sub VI que escribe un reporte de las variables capturadas se debe escribir la ubicación en un file path del formato de reporte creado para las prácticas, y para poder activar la estructura case que contiene el Sub VI ,deben de estar en TRUE el botón booleano guardar práctica, El botón deslizante debe estar en FALSE y aunque el selector este en FALSE se debe negar la salida para obtener un TRUE, si los dos en TRUE la compuerta AND manda a activar el Sub VI .

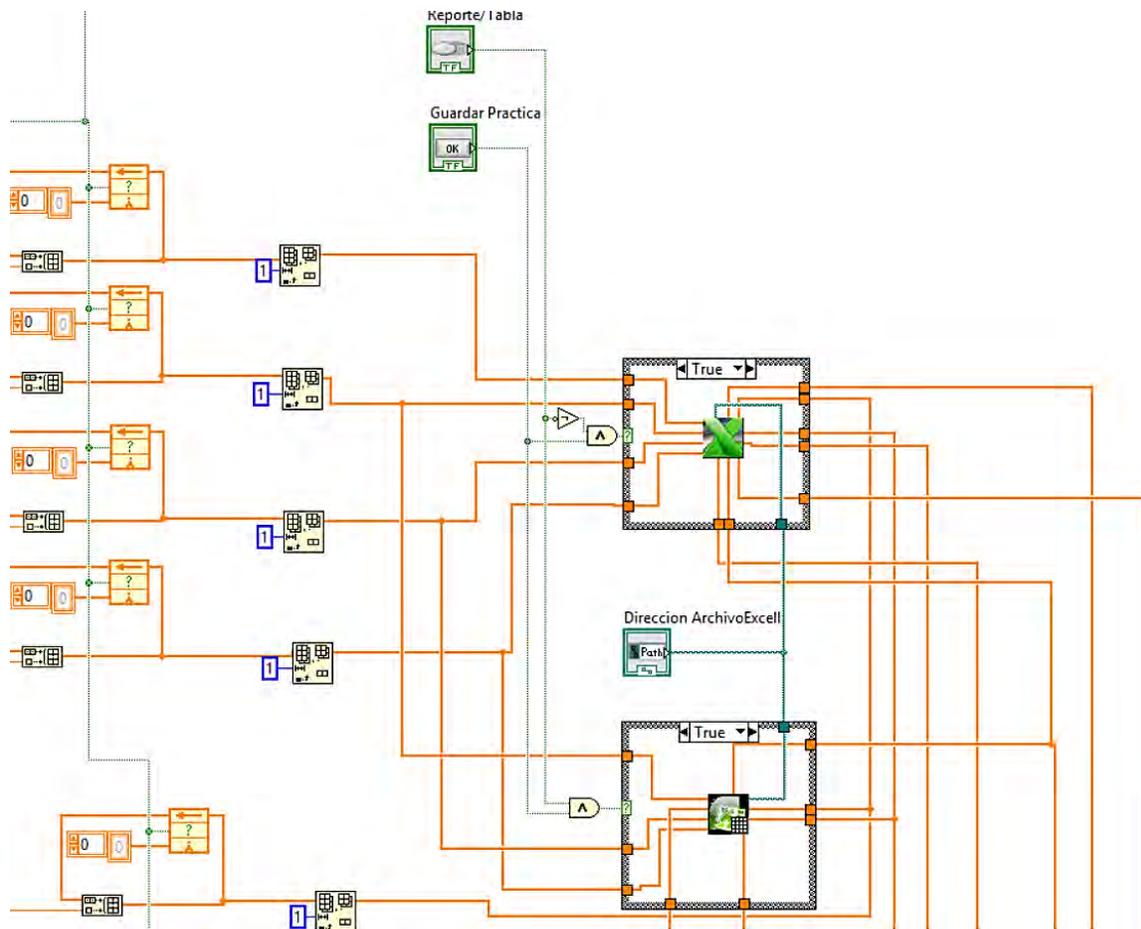
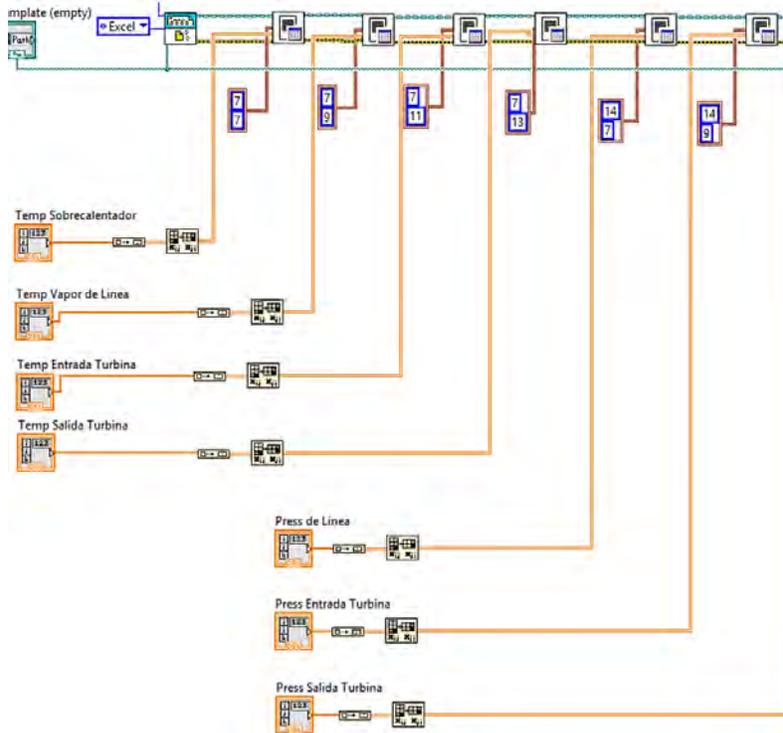


Figura 4.5.5 Diagrama de bloques para guardar datos en Excel

Para el segundo caso cuando se desea escribir los valores en la tabla de cálculo de propiedades de vapor, el botón deslizante selector debe de cambiar su estado a TRUE y en conjunto a el estado del botón guardar practica en TRUE, al estar ambos en verdadero la compuerta AND activa el CASE del sub VI de escritura en tabla de cálculo de propiedades de vapor.

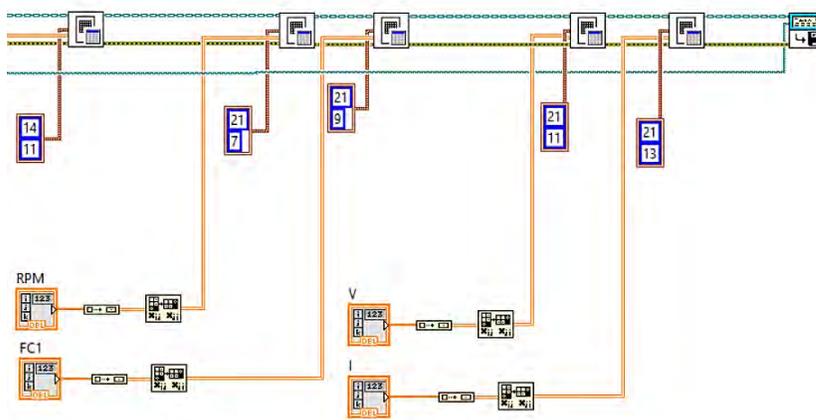
4.6. Generación de Reportes en Excel.

Como se mencionó anteriormente se desarrollaron dos Sub VIs, el primer Sub VI se desarrolló para escribir en un formato de práctica los valores capturados en la interfaz.



En la figura se muestra como se procesan los arreglos, el arreglo es transformado a 2 dimensiones y transpuesto después es enviado a las funciones de escritura de Excel Easy Table, esta función permite escribir una tabla en Excel con los valores de los arreglos se le deben indicar las coordenadas donde empezara a escribir la tabla esta son el número de la fila y la columna correspondiente.

Figura 4.6.1 Diagrama de bloques para generar reporte con señales de los sensores



Finalmente después de procesar la información de los arreglos mediante Easy Table y comunicarse entre sí cada función, se debe guardar el reporte al archivo Excel seleccionado en el file path.

Figura 4.6.2 Diagrama de bloques para generar reporte en Excel

Para el segundo Sub VI se desea escribir en una tabla de cálculo de propiedades de vapor cinco registros de las variables temperaturas, presiones, rpm y fuerza capturadas en cinco diferentes condiciones del proceso.

	Lecturas DAQ		RPM	Fuerza
	p [bar]	T [°C]		
Linea de vapor				
Entrada a la turbina				
Salida de la turbina				

Se realiza una captura cada que se activaban diferentes resistencia al generador eléctrico. Para este caso se especificó por el académico las casillas exactas donde se requería escribir las mediciones de las variables capturadas por lo cual había que conocer las coordenadas de estas e indicarlas en el Sub VI

Figura 4.6.3 Tabla de Propiedades de vapor en Excel

En la figura se muestra el desarrollo de este Sub vi que incluye un file path donde se selecciona la ubicación de la tabla donde se van a escribir los valores, se procesan los arreglos con las capturas de las variables de los sensores de temperatura de presión de velocidad y de fuerza en las funciones Easy table y se indican las coordenadas de las casillas donde está especificado que se deben escribir los valores capturados,

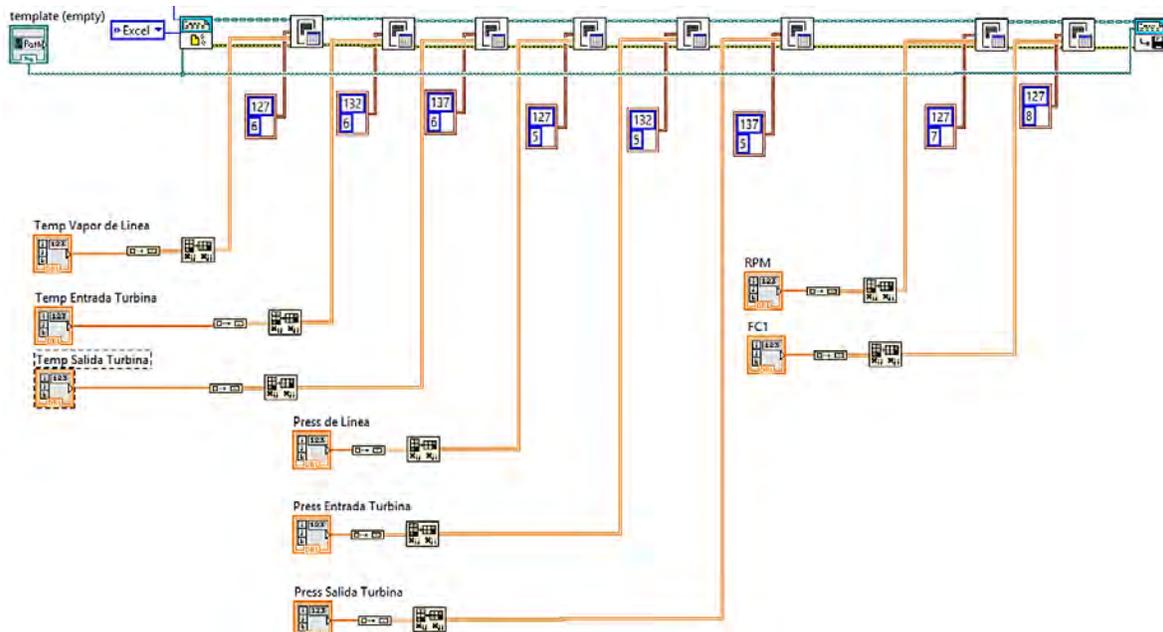


Figura 4.6.4 Diagrama de bloques para escribir en Tabla de propiedades de vapor

4.7. Comunicación con tarjeta de control de servoválvula.

Se integró a esta interfaz el sub vi desarrollado por Cesar Millán Rosas del proyecto construcción de la tarjeta de control para servovalvulas [3], el cual permite tener una acción de Control sobre los actuadores de la Turbina Coppus, para el correcto funcionamiento de este sub vi fue necesario enviarle la información de las RPM que nos entregaba el Encoder, se agregó una comparación que establece que arriba de 4000 RPM sea enviada una alarma al sub vi para realizar una corrección de control, se le agregaron los controles correspondientes con los que interactúa el usuario

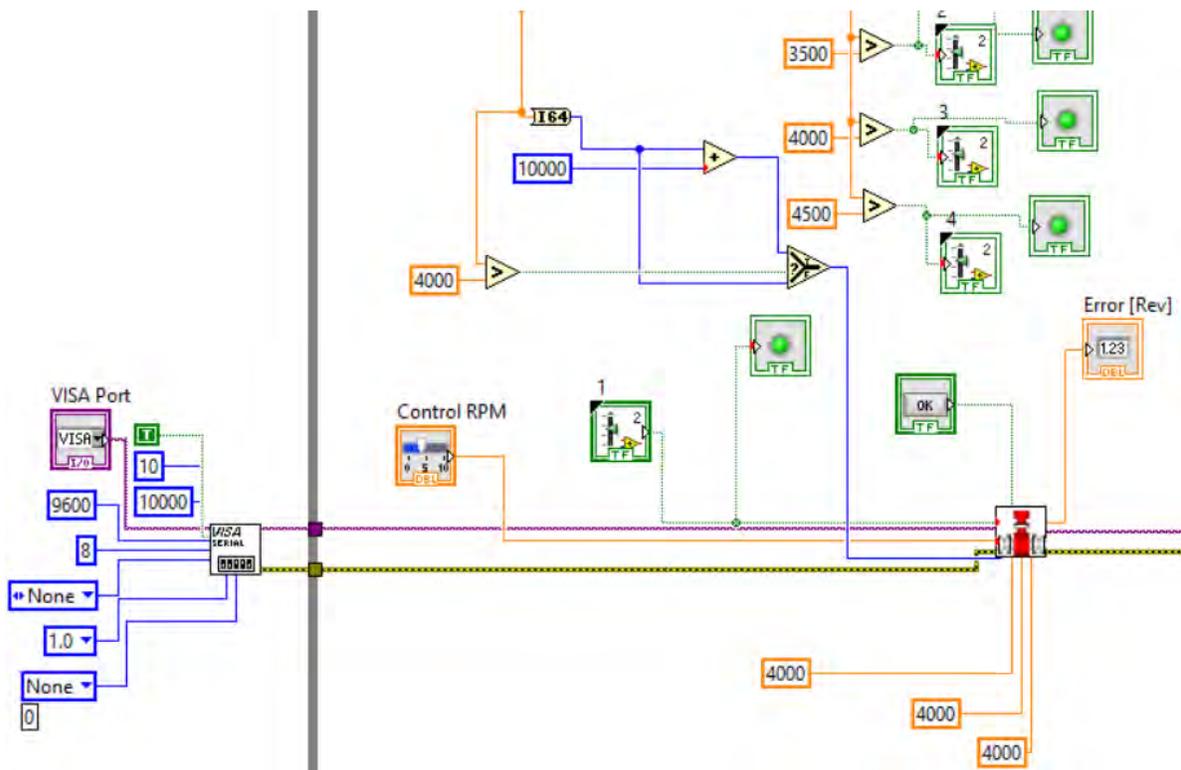


Figura 4.7.1 Diagrama de bloques para Comunicarse con tarjeta electrónica de control

Se integró el sub vi VISA que permite establecer la comunicación serial RS232 con la tarjeta Electrónica de Control para servovalvulas, se le asignó un control para que el usuario pudiera establecer el puerto COM donde se conecte la tarjeta y se dejó una configuración por default para la velocidad de trasmisión

4.8. Variables Compartidas.

Una variable compartida es un tipo de variable que exporta datos de una aplicación y la publica en un servidor web o una red para que otros PC o equipos portátiles puedan tener acceso a cierta información que comparte el PC principal.

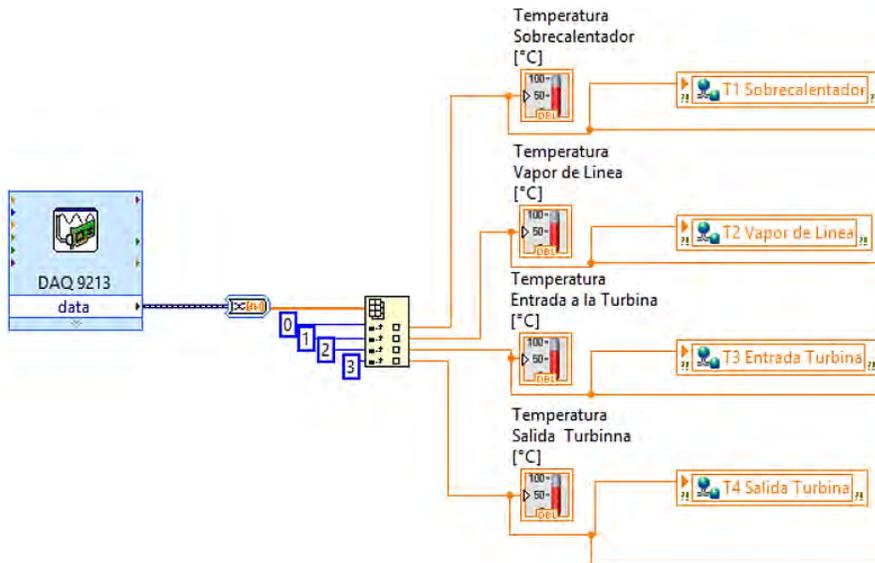


Figura 4.8.1 Variables Compartidas DAQ 9213

En la imagen se muestra como se vinculan las señales de temperatura provenientes de la DAQ 9213 con las variables compartidas, permitiendo publicar en la red la temperatura T1 del sobrecalentador, T2 del vapor de línea, T3 de la entrada a la turbina y T4 a la salida de la misma.

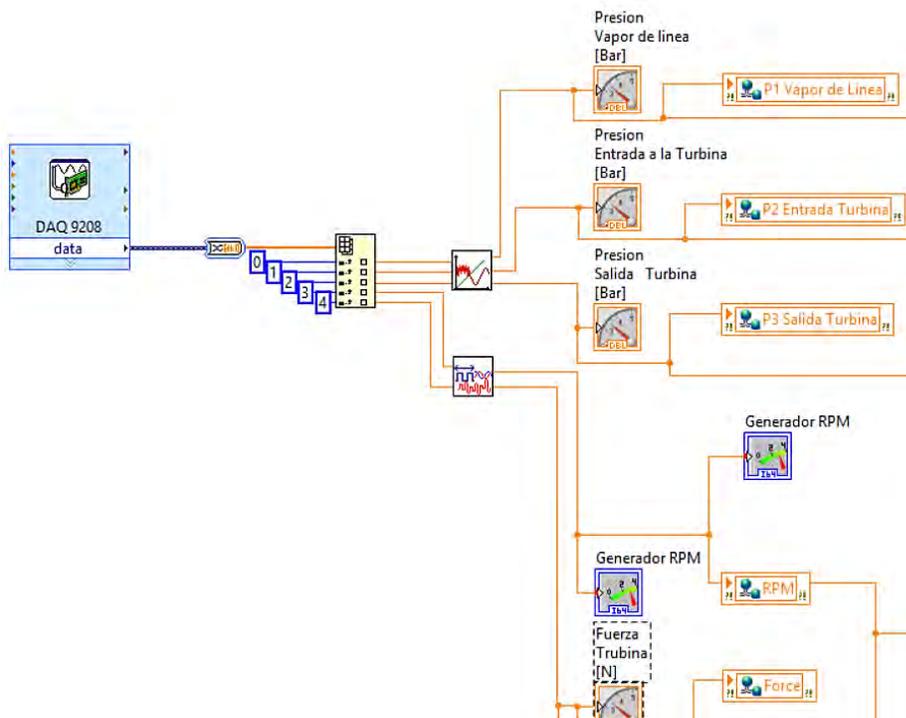


Figura 4.8.2 Variables Compartidas DAQ 9208

En la imagen se muestra como se vinculan las variables compartidas con las señales escaladas de la DAQ9208 permitiendo publicar en la red la presión de vapor de línea, la presión del vapor a la entrada de la turbina y a la salida de la misma, las revoluciones por minuto y fuerza de la turbina y el generador eléctrico

Se integraron en un proyecto de LabVIEW todos los Sub Vis antes mencionados necesarios para el funcionamiento de la interfaz y también todas las variables compartidas vinculadas a las señales de los sensores, cuando se compila y ejecuta la interfaz principal, el programa publica en la red las variables compartidas con la dirección IP correspondiente a la PC donde se ejecuta la interfaz principal

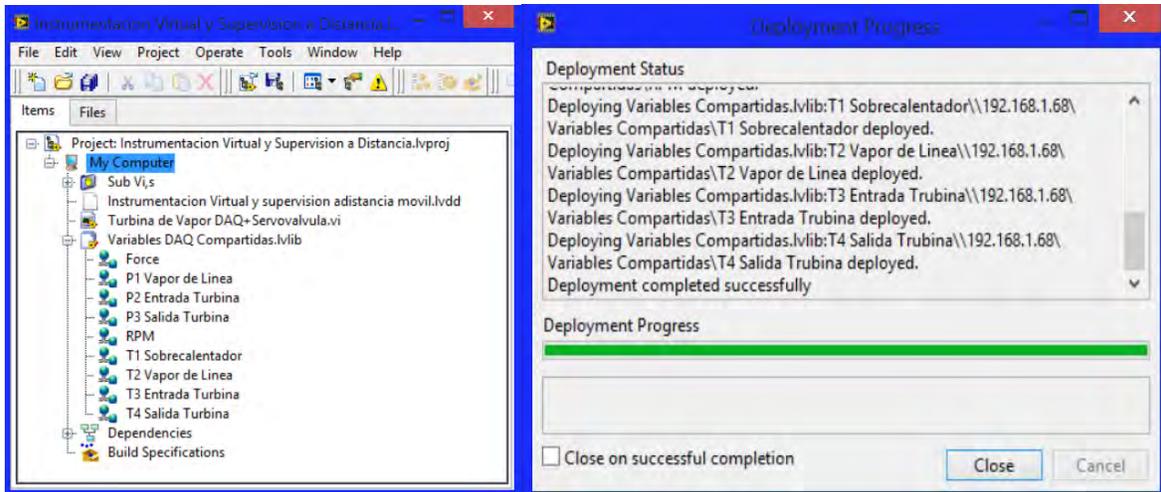


Figura 4.8.3 Publicación de Variables Compartidas desde el proyecto principal

Posteriormente después de publicar en la red las variables compartidas, se ejecuta desde un dispositivo móvil o Tablet el LabVIEW Data Dash board con la interfaz desarrollada para la supervisión del Ciclo, al seleccionar un manómetro virtual en esta interfaz en la parte inferior se ubica un link donde se puede vincular el instrumento virtual con la variable que se está ejecutando en la red, se debe introducir la dirección IP donde se encuentran las variables, buscar y seleccionar la variable correspondiente al instrumento, que en este caso sería la presión P2 Entrada Turbina.



Figura 4.8.4 Vinculación de Instrumentos con variables compartidas

Se debe vincular cada instrumento con su variable compartida correspondiente, mientras que la dirección IP no cambie esta configuración quedara guardada y se ejecutara automáticamente.

4.9. LabVIEW Web Server.

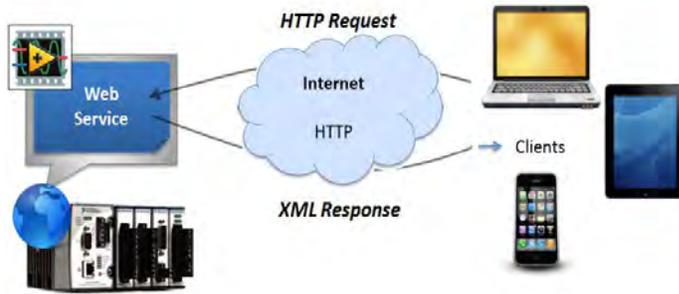


Figura 4.9.1 Web server LabVIEW. (National instruments 2016)

Un servidor web o Web Service es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones, utilizando una red o el internet, es posible crear y publicar servidores web a través de LabVIEW para poder compartir la información adquirida por Hardware de una planta o proceso a través de internet a múltiples ordenadores o dispositivos móviles.

Se desarrolló un servidor web dentro del mismo proyecto donde se crearon las variables compartidas, el servidor web fue nombrado DAQ Web service Turbina Coppus, dentro de este servidor web se creó un VI nombrado: (HTTP Variables Turbina COPPUS. GET). Este sub vi contiene la información que será publicada en línea se utiliza el método con la operación GET la cual permite obtener información del servidor de acuerdo a los estándares de HTTP.

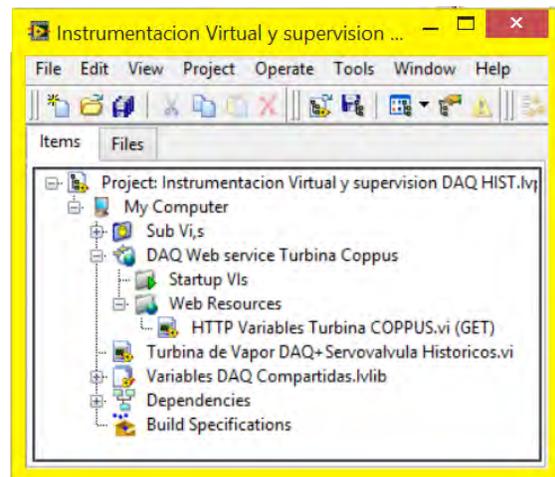


Figura 4.9.2 Publicación del Web server

Este Sub vi GET contiene un diagrama de bloques donde se utilizan las variables compartidas creadas anteriormente que exportan la información ya escalada de las variables como temperatura y presión que adquieren los sensores, estas variables se conectan a indicadores que serán usados como salidas en el servidor web, también se integra el sub vi Read Request Variable.vi que permite leer el estado requerido de una variable y además realiza la configuración del servidor, se utiliza una variable nombrada query string para procesar la información

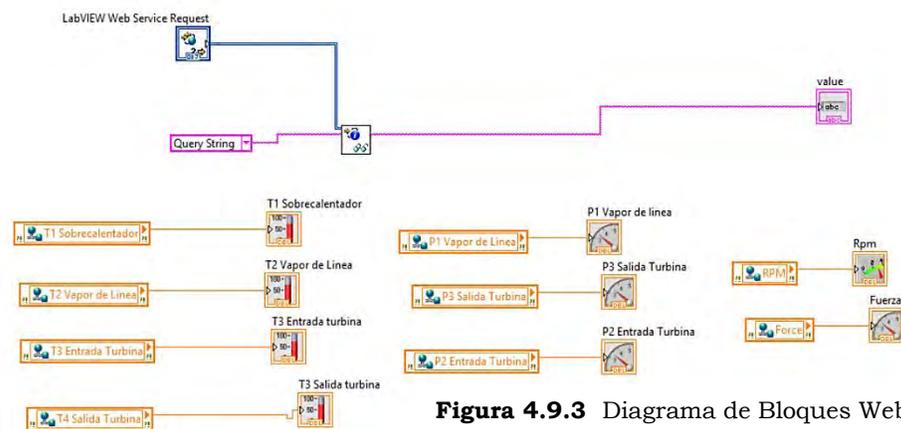


Figura 4.9.3 Diagrama de Bloques Web server

en cadena de caracteres y se usa el objeto web Service Request.

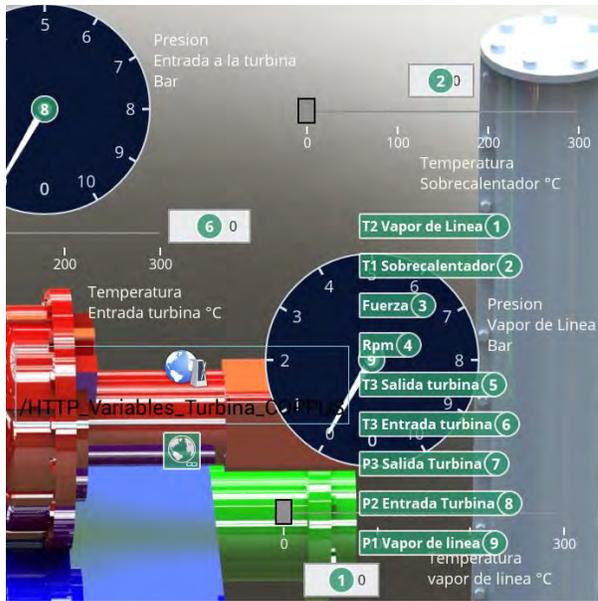


Figura 4.9.4 asignación del Web server en Tablet

Posteriormente se debe publicar e iniciar el servidor Web directamente desde el proyecto principal; se puede corroborar si ya está publicado y corriendo correctamente desde un navegador web ingresando al servidor de National Instruments del localhost3582 ahí debe de aparecer el nombre del servidor y cuál es su estado actual.

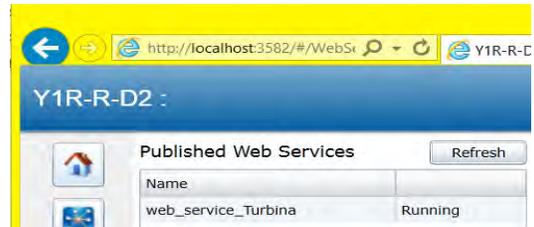
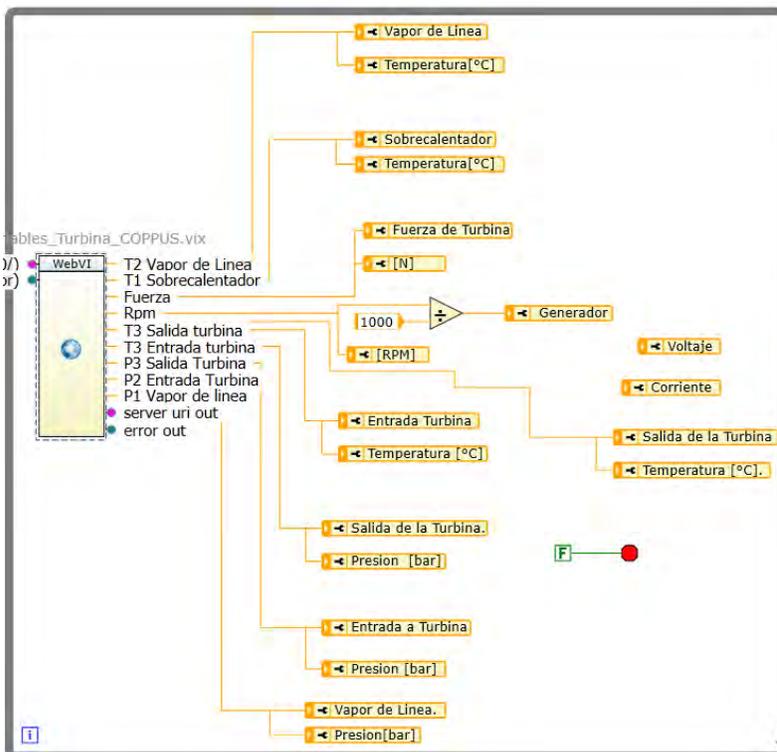


Figura 4.9.5 Web server en navegador

Este servidor web puede visualizarse desde la interfaz desarrollada en Android para dispositivos móviles, se debe agregar un LabVIEW Web Services del tipo poll Web Service, este tiene un link en la parte inferior donde se ingresa la dirección IP de la computadora principal que publico el servidor web, y se agrega a la interfaz el HTTP variables Turbina Coppus que contiene ya las variables compartidas con la información de los sensores y se pueden asignar directamente los números en cada uno de los instrumentos ,se asignan todos en una sola vez sin necesidad de vincularlos uno por uno.



El servidor Web puede ser visualizado en la plataforma LabVIEW web UI Builder, se puede importar desde el icono import web service donde se introduce la dirección IP de la PC que publico el servidor Web, este web server se importa como un sub vi que se introduce en un nuevo diagrama de bloques desarrollado en línea donde se asignan las salidas con la información del ciclo a los instrumentos virtuales alojados en la web, se necesita agregar un ciclo WHILE.

Figura 4.9.6 Diagrama de bloques Web UI Builder

4.10. Publicación de interfaces en internet.

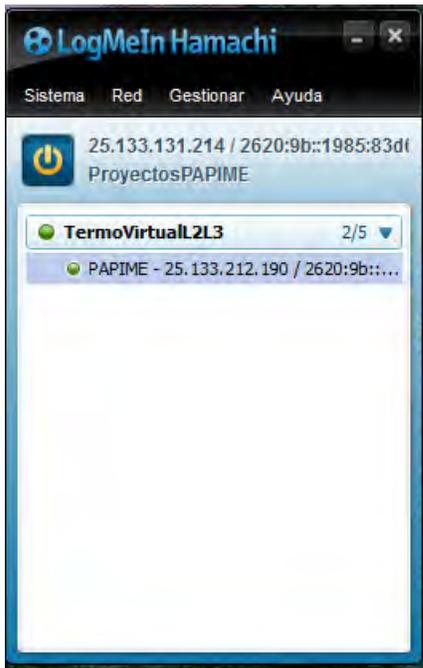


Figura 4.10.1. Red en hamachi

Una parte fundamental es la supervisión a distancia y las conexiones entre protocolos de redes y servidores web, la mayoría de los web server, variables compartidas y paneles publicados solo pueden ser visualizados en una red LAN de área local, lo cual limita mucho la supervisión a distancia solo al rango del modem local, por esta razón surge la necesidad de utilizar un programa que permita crear un túnel entre redes e interconectar varias computadoras que se encuentran conectadas en diferentes redes y en lugares remotos, esta aplicación se llama LogMeIN Hamachi el cual es un software libre que comúnmente es utilizado para interconectar dos o más computadoras que están conectadas en diferentes redes locales y a distancia remota en una sola red virtual local, de manera que si se tiene una computadora en Nezahualcóyotl y otra en Ciudad Universitaria al usar esta aplicación las dos computadoras se conectarán mediante un túnel en una red virtual y las dos se conectarán como si estuvieran en una red local.

Este programa permitirá interconectar la computadora principal desde donde se publican los web server, variables compartidas y paneles frontales con diferentes computadoras remotas que supervisarán la interfaz a distancia. El siguiente paso sería utilizar el toolkit Web publishing Tool el cual permite publicar paneles frontales VI en la red para crear una aplicación web en línea, se debe iniciar el web

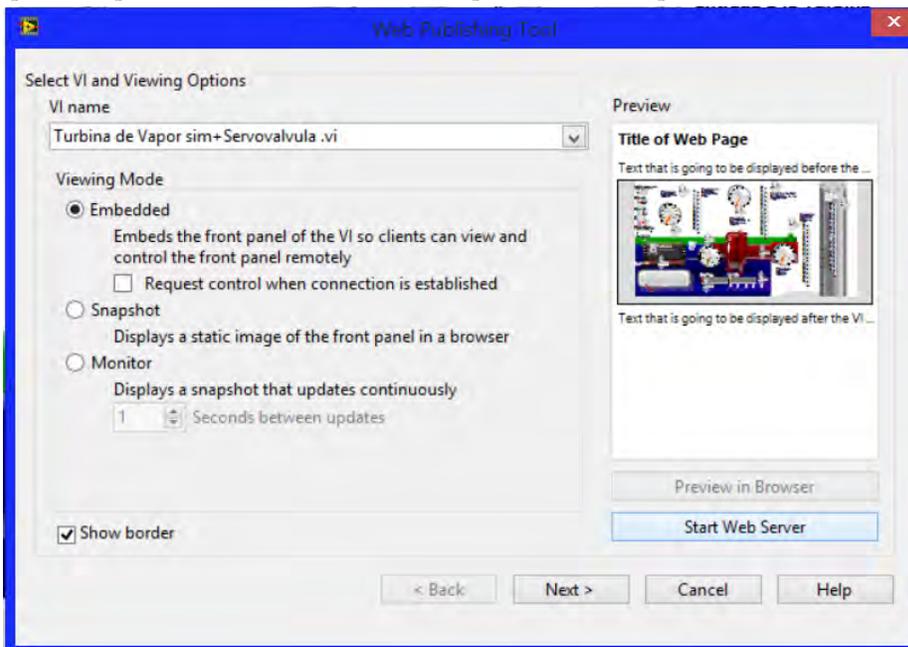


Figura 4.10.2. Web publishing toolkit

server de National Instruments, seleccionar el VI que se desea publicar y configurar si se desea que la visualización sea embebida donde el usuario de la interfaz a distancia también puede controlar el sistema vía remota.

Se realizaron las configuraciones necesarias se le agrego un título a la página web y finalmente se publica en internet a través del toolkit, el cual nos genera la dirección URL de la página web donde se puede visualizar la turbina COPPUS, este VI es publicado utilizando el puerto de red 8000.

http://proyectospapime:8000/Instrumentacion%20Virtual%20y%20supervision%20DAQ%20HIST.lvsproj_My%20Computer_Turbina%20de%20Vapor%20DAQ%2BServovalvula%20Historicos.html.

Este link prácticamente permite a otra computadora descargar el VI desarrollado en LabVIEW, instala todo el software necesario para la transmisión de datos en la computadora del usuario aun si no se tiene instalado el software LabVIEW, al descargar el panel frontal VI solo se instalara lo requerido, permitiendo al usuario una interacción con la interfaz de manera didáctica, el usuario puede apretar botones de la interfaz y capturar datos, manipular el proceso a distancia haciendo clic en los botones que regulen el flujo de vapor, supervisar y controlar de manera remota sistemas de automatización por un navegador Web visualizando los instrumentos virtuales desde cualquier lugar.

Prácticamente este panel permite supervisión remota y manipulación a distancia pero para la manipulación de algún elemento de la interfaz el operador de la interfaz principal que se encuentra en el laboratorio de térmica debe de dar autorización y entregar el control a algún usuario conectado en la red.

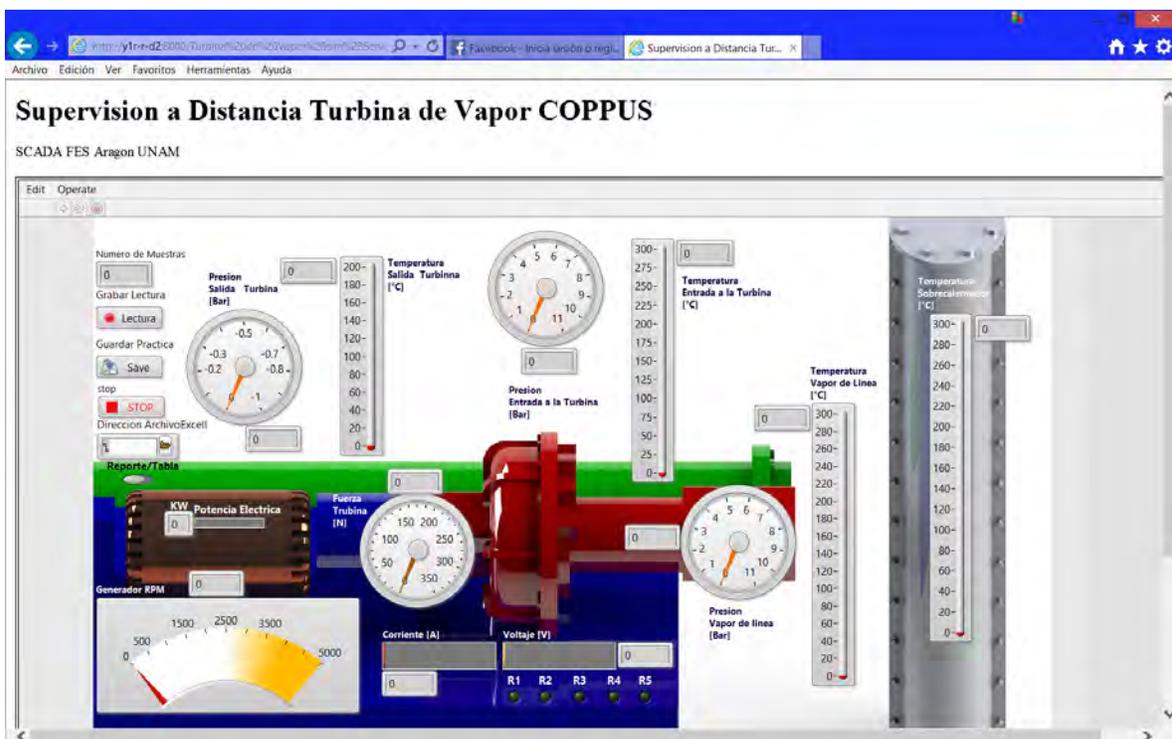
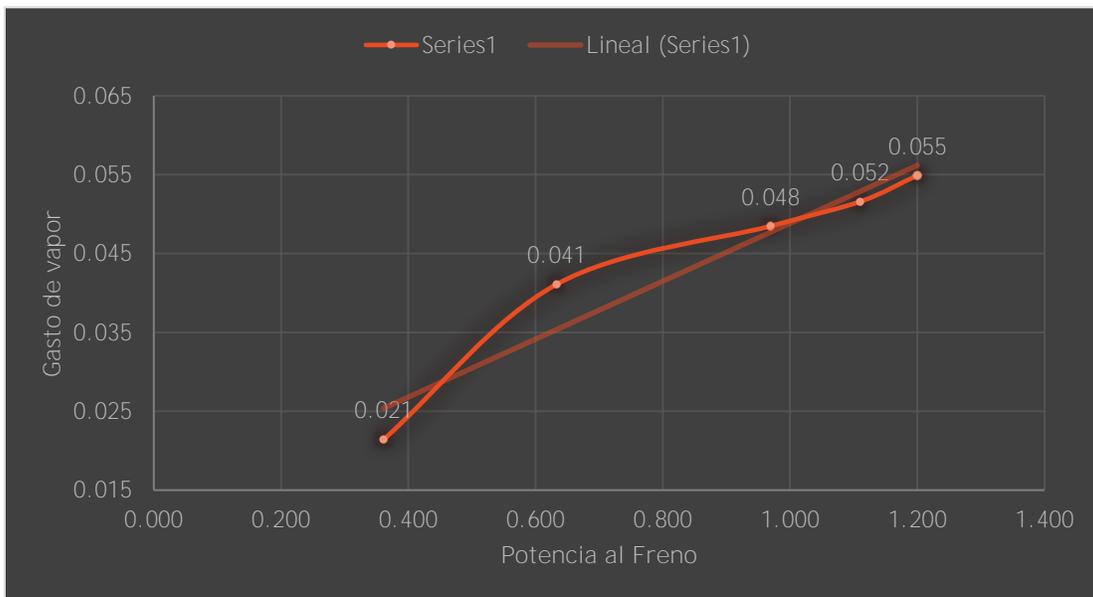


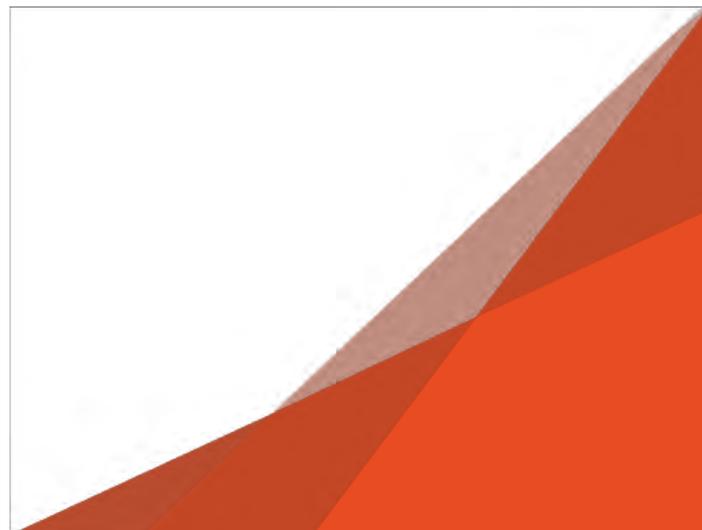
Figura 4.10.3. Interfaz principal de la Turbina COPPUS supervisada desde internet

5. Resultados



“No creo que haya alguna emoción más intensa para un inventor que ver alguna de sus creaciones funcionando. Esa emoción hace que uno se olvide de comer, de dormir, de todo.”

([Nikola Tesla.](#))



5.1. Comparación de Variables Físicas

Se realizaron varias pruebas para probar los sensores e instrumentos virtuales comparándolos con la instrumentación original del ciclo Rankine, en una prueba realizada el 01/06/2016 entre las 12 y 13 pm, en el laboratorio de máquinas térmicas, se capturaron los siguientes datos de los manómetros físicos; Presión de vapor de línea: 6.4 [bar], presión de entrada a la turbina: 2.2 [bar], presión vacuometrica de salida de la turbina: -0.5 [bar].



Figura 5.1.1 Presión Salida de turbina, Presión entrada de turbina Presión vapor de línea

Se adquirieron datos a través de la interfaz principal desarrollada en este trabajo; Presión de vapor de línea: 6.363 [bar], presión de entrada: 2.303 [bar], presión de salida: -0.5703 [bar], al compararlas se observa que los instrumentos virtuales tienen bastante exactitud con el valor real, además que tienen la ventaja de mostrar el valor numérico con cifras decimales de la medición siendo mucho más preciso el instrumento virtual. Los sensores utilizados setra 522 y 209 nos dan un error de exactitud de $\pm 0.25\%$.

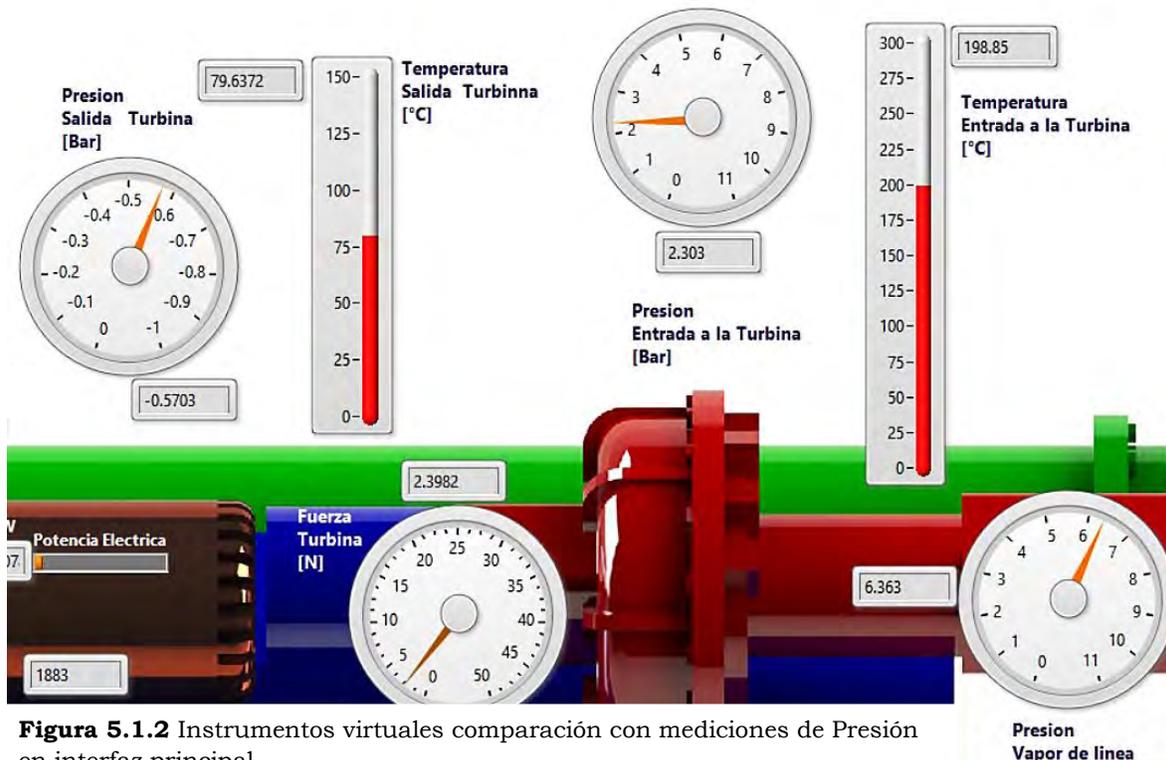


Figura 5.1.2 Instrumentos virtuales comparación con mediciones de Presión en interfaz principal

Se realizó una segunda prueba y se capturaron los siguientes datos de los manómetros físicos; Presión de vapor de línea: 1.9 [bar], presión de entrada a la turbina: 1.7 [bar], presión vacuométrica de salida de la turbina: 0, todas las mediciones dadas en bares.



Figura 5.1.3 Presión Salida de turbina, Presión entrada de turbina Presión vapor de línea

Se adquirieron datos a través de la interfaz desarrollada para tablets y dispositivos móviles portátiles; Presión de vapor de línea: 1.812 [bar], presión de entrada: 1.749 [bar], presión de salida: 0.053[bar], al compararlas nuevamente se confirma la exactitud y precisión de los sensores y los instrumentos



Figura 5.1.4 Instrumentos virtuales comparación con mediciones de Presión en interfaz para Tablet virtuales utilizados

De igual forma se realizaron pruebas para comparar las mediciones de temperaturas, se utilizaron dos multímetros para medir las temperaturas que adquiría la instrumentación original del ciclo; La temperatura del vapor de línea: 191.7 °C y la temperatura del vapor a la salida 95.0 °C, y se compararon con las mediciones de los instrumentos virtuales de la interfaz para dispositivos móviles; Temperatura de vapor de línea: 193.4°C, Temperatura de salida: 92.29°C, al compararles se observa que no hay mucha diferencia entre las mediciones; el termopar tipo J tiene un grado de error de exactitud de 0.75%

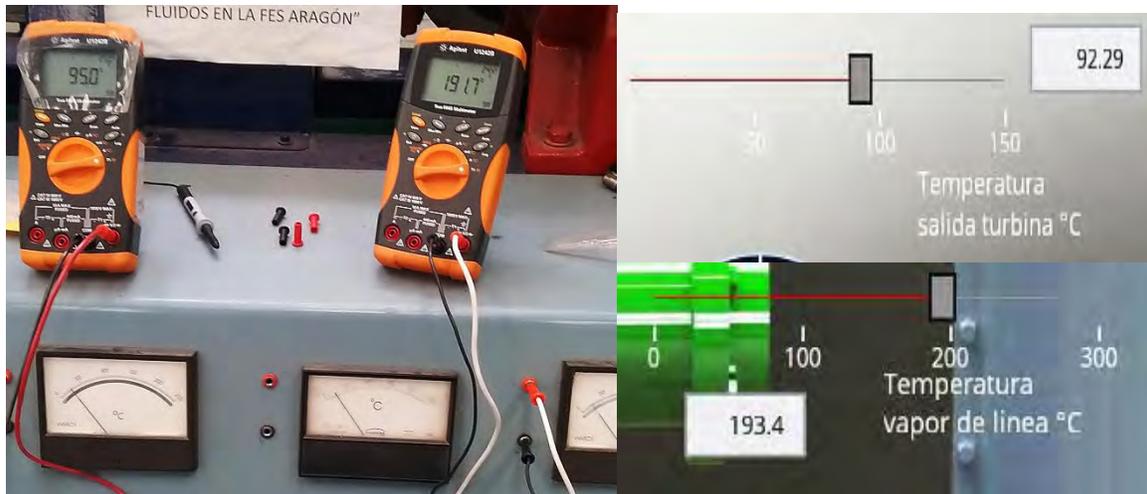


Figura 5.1.5 Temperatura de salida de turbina y vapor de línea, comparación con VI

En una segunda prueba las temperaturas que adquiría la instrumentación original del ciclo; La temperatura del vapor de línea: 277.2 °C y la temperatura del vapor a la salida 152.0 °C, y se compararon con las mediciones de los instrumentos virtuales de la interfaz Principal; Temperatura de vapor de línea: 279.38°C, Temperatura de salida: 153.008°C, tanto las mediciones con el software y las mediciones con los multímetros concordaban entre sí pero llamo la atención observar que la temperatura de salida fuera tan alta considerando que estaba encendida la bomba de vacío y la presión de salida era mucho menor que la atmosférica, por lo que se supone que la temperatura de salida debía ser mucho menor también debido a las propiedades de vapor, pero sin embargo en otras lecturas se pueden observar temperaturas concordantes a esa presión y menores entre 60 y 75° C, el ciclo trabaja en condiciones estables durante un tiempo pero hay que considerar que después de un tiempo de operación pueden existir bastantes perturbaciones en la salida de la turbina que pueden afectar las mediciones, como la histéresis térmica del ciclo, aislantes defectuosos o considerar que

así como aumenta la temperatura de entrada también la temperatura de salida es mayor.



Figura 5.1.6. Temperatura de salida de turbina y Vapor de línea.

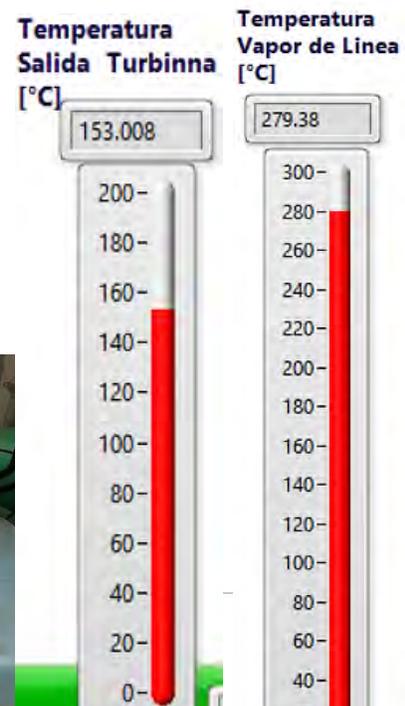


Figura 5.1.7. Comparación de Instrumentos Virtuales con temperatura de salida de turbina y Vapor de línea.

5.2. Monitoreo de variables de proceso



Se realizaron las conexiones de los sensores dentro del armario de control y se instaló en el laboratorio de máquinas térmicas junto con las canaletas porta cables de los sensores de la Turbina COPPUS. Se realizaron diversas prácticas para supervisar en la computadora y en dispositivos móviles portátiles la evolución de los procesos de la turbina COPPUS adquiriendo Temperaturas, Presiones, Velocidad y carga en tiempo real

Figura 5.2.1 Ciclo Rankine con nuevo equipo e instrumentación

Desde la interfaz principal para la Turbina COPPUS desarrollada en este trabajo, fue exitosa la adquisición de datos como temperaturas, presiones, velocidades y fuerza, en tiempo real leyendo dos muestras por segundo de cada variable y publicando estas variables en la red.



Figura 5.2.2 Interfaz principal para Turbina COPPUS en laptop

Se observa detalladamente en las siguientes imágenes los valores adquiridos por los sensores y visualizados a través de la interfaz, estas imágenes corresponden a capturas de pantalla con datos reales de la Turbina COPPUS adquiridos en diferentes prácticas y momentos de la evolución de los procesos del ciclo Rankine capturados a través de esta interfaz y hardware.

Esta interfaz es publicada en internet para poder ser supervisada a distancia desde cualquier lugar siempre y cuando se manejen dentro de la misma red y puede ser una red virtual creada por aplicaciones como hamachi que pueden conectar más de dos computadoras en una red local sin importar la distancia y conexiones entre ellas, permitiendo el monitoreo remoto de esta interfaz desde cualquier sitio.

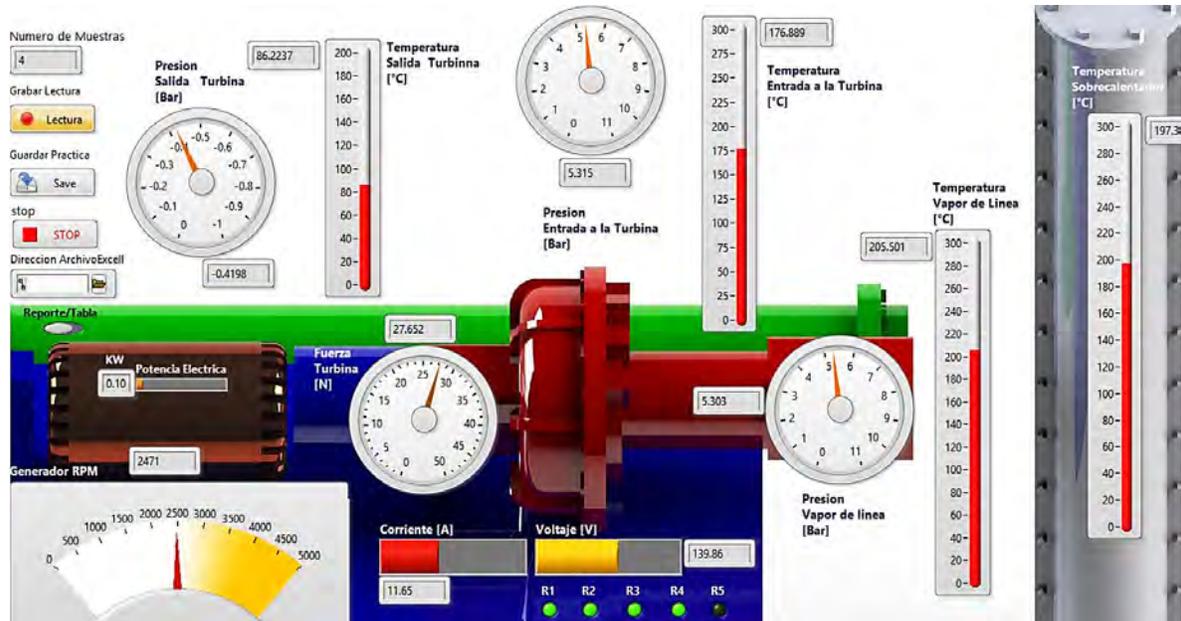


Figura 5.2.3 Interfaz principal para Turbina COPPUS adquiriendo datos de todos los sensores

Se observa en las siguientes imágenes los valores de la presión y temperatura a la entrada y salida de la Turbina COPPUS, a la entrada de la turbina la temperatura es de 176.8°C y la presión es de 5.31 [bar] y en la salida de la turbina la temperatura es de 86.2°C y la presión es de -0.41 [bar], se supervisa el estado de estas variables, observando en tiempo real la diferencia de temperaturas y presiones.

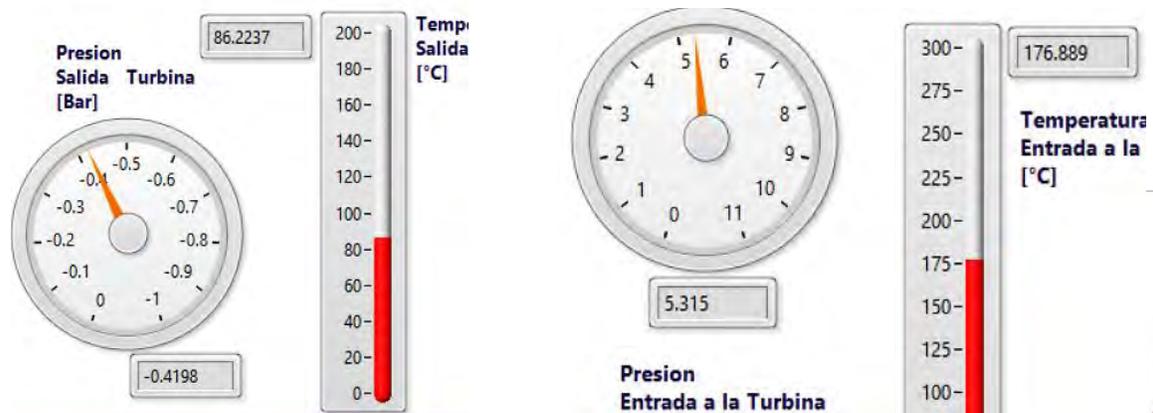


Figura 5.2.4 Instrumentos Virtuales para presión y temperatura a la entrada y salida de turbina

Se observa además en las siguientes imágenes los valores de la velocidad de la turbina y el generador a 2471 RPM, junto con la Fuerza o carga ejercida por el generador y la turbina a 27.6 Newton, también se observa la temperatura del vapor de línea que superaba los 200 °C, la presión del vapor de línea supero los 5.3 bares.



Figura 5.2.5 mediciones de velocidad en RPM, Fuerza en N, Temperatura y presión de línea

También fue posible supervisar la Turbina a través de dispositivos móviles portátiles en este caso fue una Tablet donde a través de la red se monitoreaban las variables compartidas y servicios web con la información de las variables del proceso.

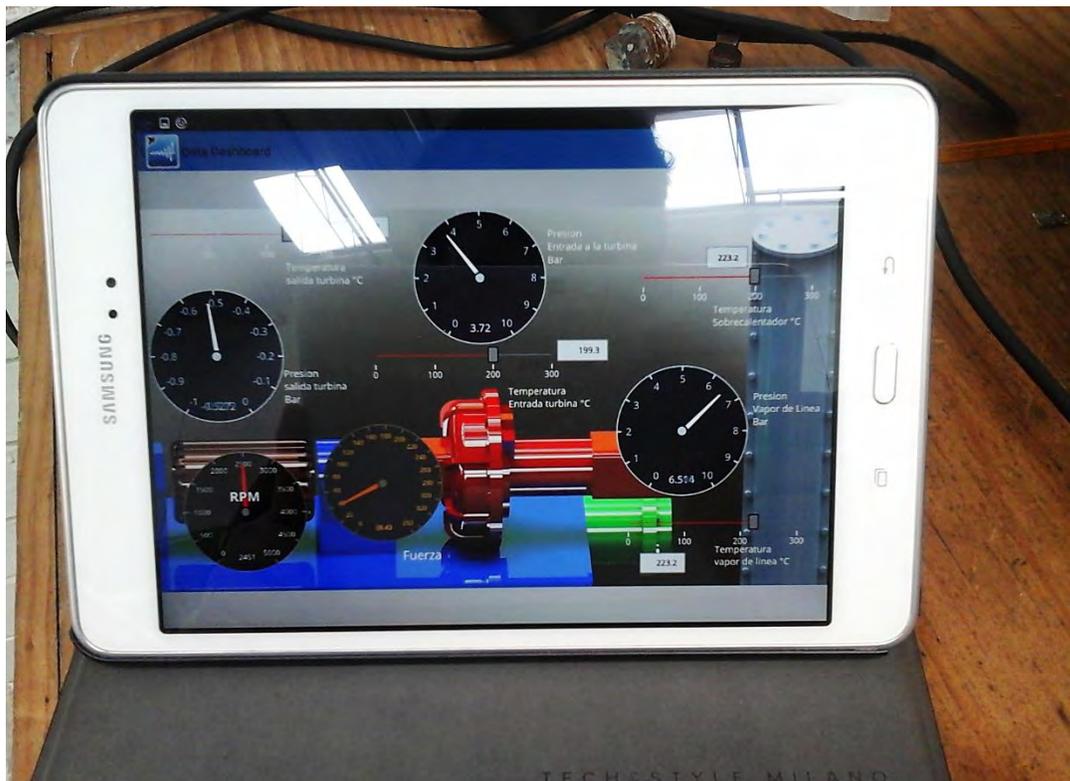


Figura 5.2.6 Interfaz para Dispositivos móviles en Tablet.



Figura 5.2.7 Interfaz para Dispositivos móviles adquiriendo datos de todos los sensores

En esta interfaz para dispositivos móviles en Android, mediante WI FI se realiza una conexión a la red donde la computadora principal está publicando las variables como temperaturas, presiones velocidad y carga, en esta interfaz se monitorea la presión con estos manómetros virtuales azul marino, las revoluciones por minuto en el indicador de aguja negro con rojo y la fuerza en el indicador de aguja café oro, todas muestran datos reales adquiridos de la Turbina durante la evolución del ciclo.

En esta imagen se pueden observar presiones de 4.9 bares como la presión del vapor de línea o temperaturas de hasta 289°C como la del Sobrecalentador, la turbina giraba a 2692 Revoluciones por minuto y la carga del generador a 25.79 Newton.

Además esta interfaz puede utilizar los servidores web publicados, para poder supervisar remotamente a distancia siempre y cuando se manejen dentro de la misma red local donde está conectada la interfaz principal

En esta tercera interfaz es posible la supervisión del ciclo a distancia, esta interfaz está desarrollada y guardada en el servidor de National Instruments de web UI Builder pero de igual forma para conectar el servidor web exportado de la interfaz principal y pueda ser visualizado en cualquier lugar es necesario que se encuentre en la misma red local de la computadora principal.

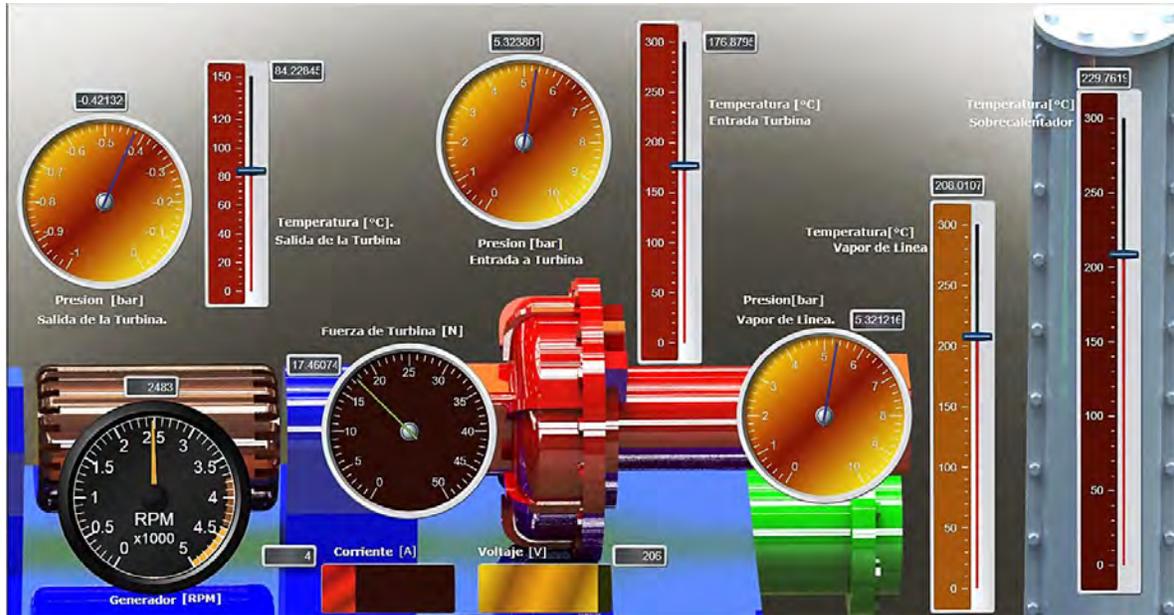


Figura 5.2.8 Interfaz en línea adquiriendo datos de todos los sensores

De igual forma esta interfaz muestra datos en tiempo real de la turbina COPPUS adquiridos en una práctica, observemos en la siguientes imágenes las presiones y temperaturas a la entrada y salida de la turbina.



Figura 5.2.9 Temperaturas y presiones a la entrada y salida de la turbina supervisada en línea

5.3. Captura de Datos y Generación de Reportes

Línea de vapor		RPM	Fuerza
P [bar]	T [°C]		[N]
5.909	173.36	2291	9.127
6.183	170.185	2473	14.811
6.489	169.691	2611	21.486
5.645	162.891	2494	25.76
5.716	163.379	2569	27.031
5.901	163.795		
6.165	165.368		
6.29	166.501	Entrada a la turbina	
4.06	151.607		
2.999	148.064		
-0.399	75.93		
-0.387	76.62		
-0.37	96.866	Salida de la turbina	
-0.36	97.207		
-0.352	98.462		

Tabla 5.3.1. Datos exportados a Tabla de propiedades de vapor

Al hacer Clic 5 veces en el botón lectura de la interfaz principal se capturaron 5 muestras de la Presión y Temperatura de la Línea de Vapor, la Presión y Temperatura del vapor a la entrada de la turbina, Presión y Temperatura del vapor a la salida de la turbina, las revoluciones por minuto y la fuerza que ejercía la turbina; por cada vez que se activaba cada una de las 5 resistencias eléctricas se capturaba una medición de todas las variables. Se capturaron 5 lecturas de las variables de la Turbina Coppus adquiridas por los sensores y cuando el alumno hace clic en el botón guardar desde la interfaz principal se exportaron a la tabla de cálculo de propiedades de vapor en Excel, escribiendo cada valor automáticamente en su correspondiente celda. La tabla realiza los cálculos necesarios para la

potencia al freno y se graficó automáticamente la línea Willans correspondiente a los datos capturados, se obtuvo una gráfica adecuada a la respuesta que se esperaba.

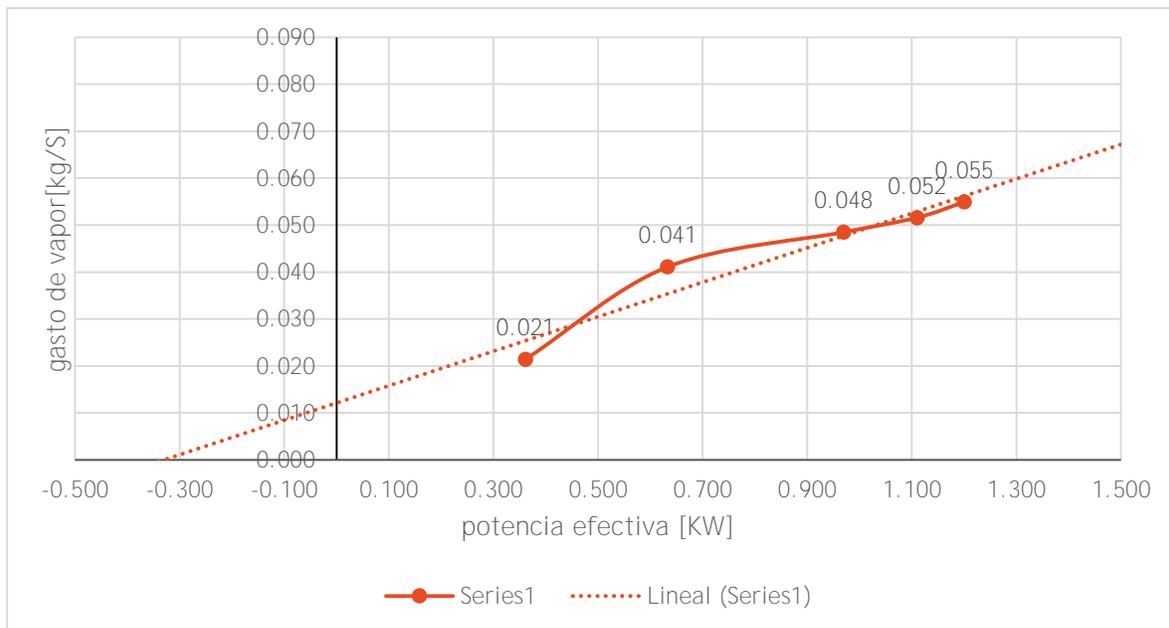


Figura 5.3.1. Línea Willans correspondiente a tabla 5.3.1 y 5.3.2

La interfaz capturo nuevas mediciones de las variables de la Turbina para 5 estados diferentes correspondientes cada uno a la activación de las resistencias de carga R, La primera columna R corresponde al número de resistencias que se activan en ese instante 1, 2, 3,4 y 5, La segunda columna son los valores de Presión Absoluta manejando 0.8 bar como presión atmosférica, correspondientes para el numero de resistencias activadas, la siguiente columna son las Temperaturas correspondientes, las dos primeras columnas se dividen en Vapor de Línea, Entrada de la Turbina y Salida de la Turbina, en la tercera columna, las primeras 5 mediciones corresponden a los valores de las RPM de la turbina correspondientes, debajo de esta columna se encuentra los valores de las Entalpias de entrada a la turbina correspondientes a las columnas de temperatura y presión a la Entrada de la Turbina, debajo de esta columna se encuentra los valores de las Entalpias a la salida de la turbina correspondientes a las columnas de temperatura y presión a la Salida de la Turbina.

R	Línea de vapor		RPM	Fuerza	Potencia al Freno [KW]
	P Abs. [bar]	T [°C]	RPM	[N]	
1	6.709	173.36	2291	9.127	0.361
2	6.983	170.185	2473	14.811	0.633
3	7.289	169.691	2611	21.486	0.969
4	6.445	162.891	2494	25.76	1.110
5	6.516	163.379	2569	27.031	1.200
Entrada a la turbina			Entalpia kj/kg	Efic. Carnot	Eficiencia Térmica Turbina
1	6.701	163.795	2762.40	20.11%	4.57%
2	6.965	165.368	2764.10	19.55%	4.37%
3	7.09	166.501	2765.91	15.84%	3.21%
4	4.86	151.607	2748.85	12.81%	2.59%
5	3.799	148.064	2750.15	11.78%	2.55%
Salida de la turbina			Entalpia KJ/Kg	w= Δh KJ/Kg	Potencia Entalpica KW
1	0.401	75.93	2636.18	126.22	2.705
2	0.413	79.62	2643.33	120.77	4.963
3	0.43	96.866	2638.97	126.94	4.304
4	0.44	97.207	2677.07	71.84	3.672
5	0.448	98.462	2680.04	70.11	3.850

Tabla 5.3.2. Datos Adquiridos, propiedades de vapor, eficiencias y potencias

En la cuarta columna las primeras 5 mediciones son los valores de la fuerza ejercida por la turbina correspondiente al número de resistencias, debajo de esta columna se encuentran los valores de la eficiencia de Carnot correspondientes a cada prueba del ciclo, debajo de esta columna se encuentra la diferencia de entalpias a la entrada y salida de la turbina o trabajo realizado en la turbina para todos los casos, y la quinta columna contiene la potencia al freno correspondiente a las columnas de RPM y Fuerza, debajo se encuentra la eficiencia térmica de la turbina para los cinco casos correspondientes y se pueden comparar que son menores que las eficiencias de Carnot de la columna anterior, y finalmente la columna de potencia entalpica correspondientes a la columna de diferencia de entalpias o trabajo, las ecuaciones utilizadas para calcular potencias y eficiencias son las mismas que se mencionaron en el capítulo 1.1 de este trabajo .

Se realizó otra adquisición de datos con las capturas de temperaturas y presiones que se muestran a continuación, se obtuvieron las propiedades de vapor, eficiencias y potencias además se obtuvo una segunda línea Willans correspondiente a esta tabla en 5.3.3, y después se realizó una tercera prueba línea se analizaron los datos correspondientes y se obtuvo una tercera Willans en la figura 5.3.3.

R	Línea de vapor		RPM	Fuerza	Potencia al Freno [KW]
	P Abs. [bar]	T [°C]	RPM	[N]	
1	3.891	143.528	2591	17.069	0.764
2	5.221	213.944	2548	28.023	1.234
3	6.35	221.564	2502	37.641	1.627
4	6.694	232.322	2426	37.045	1.553
5	7.46	247.37	2533	34.881	1.527
Entrada a la turbina		Entalpia kJ/kg	Efic. Carnot	Eficiencia Térmica Turbina	
1	3.304	140.96	2738.64	17.44%	4.11%
2	4.154	189.207	2837.38	18.50%	5.09%
3	4.41	197.575	2853.78	18.04%	5.04%
4	4.312	209.595	2879.61	15.61%	4.46%
5	3.296	218.042	2901.64	15.83%	4.78%
Salida de la turbina		Entalpia KJ/Kg	w.=Δh KJ/Kg	Potencia Entalpica KW	
1	0.188	68.731	2626.12	112.52	1.335
2	0.222	103.683	2693.01	144.38	2.489
3	0.25	112.644	2709.95	143.83	4.403
4	0.302	134.218	2751.10	128.51	3.109
5	0.284	140.285	2762.96	138.68	3.105

Tabla 5.3.3. Datos Adquiridos, propiedades de vapor, eficiencias y potencias

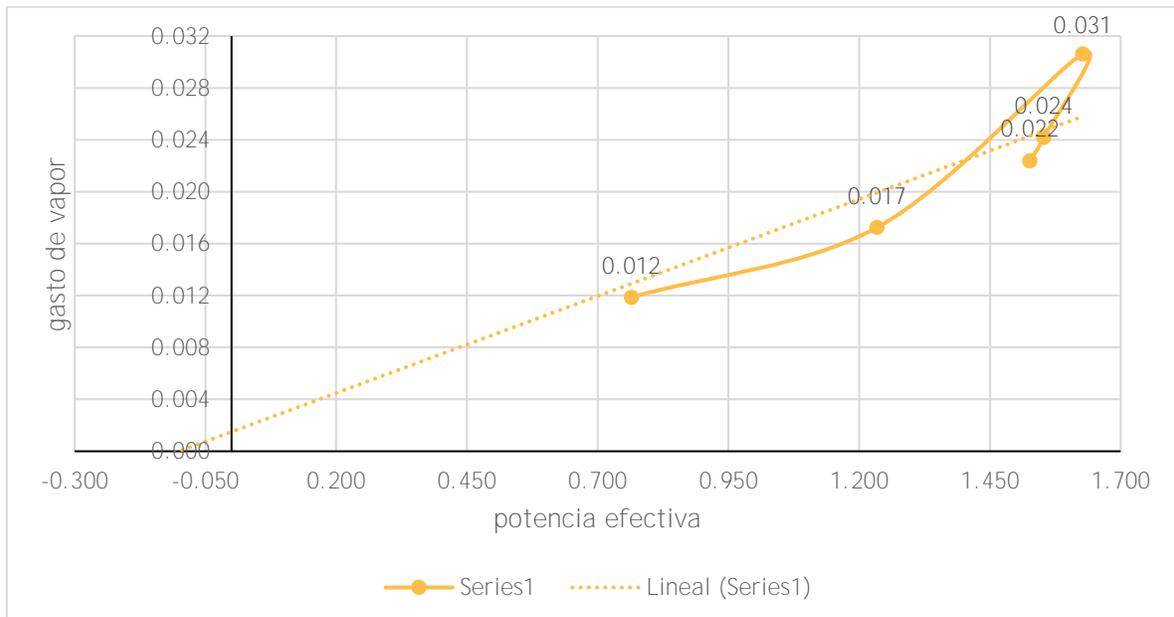


Figura 5.3.2. Línea Willans correspondiente a tabla

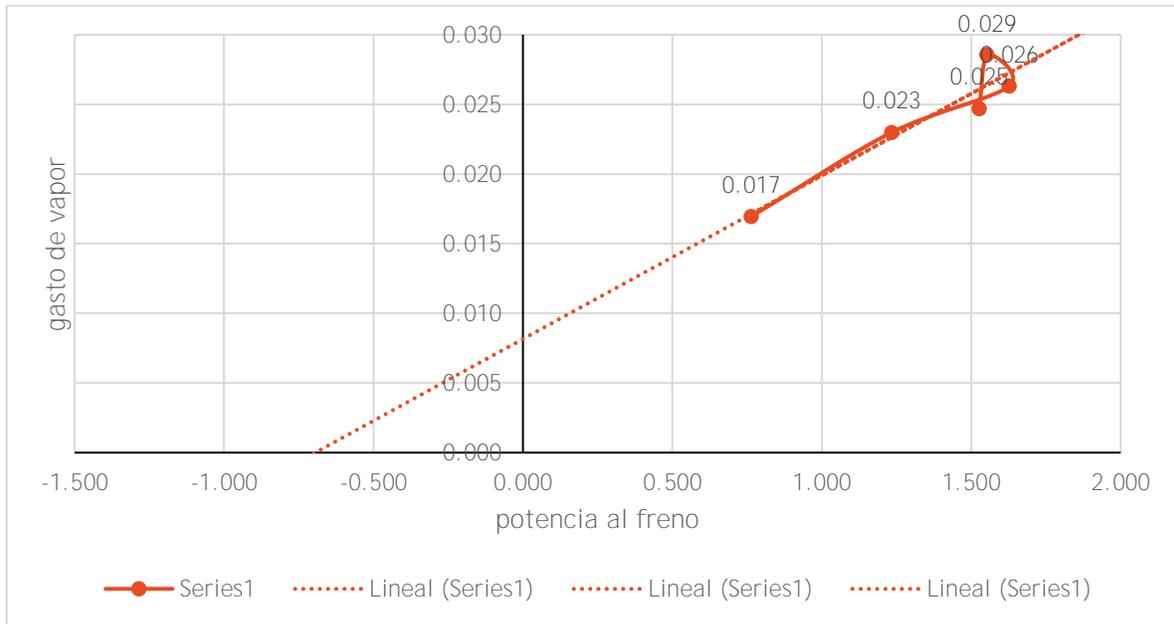


Figura 5.3.3. Línea Willans de otra prueba en la turbina con datos capturados de la interfaz

Se desarrolló una plantilla en Excel para que los alumnos registren en ella las variables térmicas de la Turbina y al dar un clic desde la interfaz automáticamente se exporten a las celdas correspondientes de la tabla, los datos de la siguiente tabla son datos reales adquiridos de la Turbina, se adquirieron cinco pruebas que corresponden cada una a el número de resistencias de carga activadas, y las variables se muestran en columnas como se indica a continuación.

		Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón			
		Ingeniería Mecánica			
		Temperaturas			
Prueba	Sobrecalentador °C	Vapor de Línea °C	Entrada a la Turbina °C	Salida de la Turbina °C	
1	190.493	137.551	131.7	74.566	
2	220.722	199.906	167.224	77.785	
3	252.951	207.252	184.413	92.465	
4	218.733	211.704	189.85	103.868	
5	252.295	224.079	201.452	113.911	
		Presiones			
		Vapor de Línea [bar]	Entrada a la Turbina [bar]	Salida de la Turbina [bar]	
1		2.03	1.963	-0.313	
2		2.992	2.84	-0.304	
3	Presiones Manométricas	5.138	4.748	-0.295	
4		3.131	3.028	-0.296	
5		3.099	2.959	-0.3	
Revoluciones por minuto		Fuerza	Voltaje	Corriente	
	Turbina y Generador [RPM]	Turbina y Generador [N]	Generador [V]	Generador [A]	
1	3476	8.005	100.794	4.598	
2	3830	16.062	216.815	5.066	
3	3837	27.604	150.221	14.481	
4	3621	16.912	104.989	17.082	
5	3712	22.202	110.107	17.509	

Figura 5.3.4. Tabla en Excel para alumnos con datos exportados desde la interfaz

5.4. Supervisión de procesos Remotos

Se realizó una práctica para comprobar la supervisión a distancia el 28/06/2016 entre las 12 y 14 pm, mientras en el laboratorio de máquinas térmicas se estaba generando vapor y la turbina giraba a más de 2500 rpm, desde el laboratorio del Club de Mecatrónica en la planta alta del L3 alumnos visualizaron la interfaz principal de la Turbina COPPUS accediendo a la aplicación VI web en línea en el navegador internet Explorer mediante el link publicado en el puerto 8000, se supervisó remotamente la evolución del proceso y los alumnos tuvieron acceso a las mediciones de las variables térmicas del ciclo.



Figura 5.4.1. Supervisión a distancia desde el laboratorio del club de Mecatrónica, L3 planta alta

La interfaz a distancia permite que se monitoree remotamente la evolución de la turbina desde cualquier lugar dentro de la FES Aragón garantizando de esta manera la seguridad de los alumnos al estar retirados de la maquinaria en operación, pero supervisando la evolución de las variables del ciclo, incluso se podría visualizar esta práctica en otras Facultades o Escuelas a través de esta aplicación web.



Figura 5.4.2. Supervisión a distancia de las variables de la turbina COPPUS

Otra de las funciones de esta interfaz es la manipulación de una servovalvula, se realizó otra practica en donde a través de la interfaz se logró abrir y cerrar el actuador para permitir o bloquear el flujo de vapor, en la barra se indicó un número de rpm deseados y al hacer clic en la válvula roja se accionaba el actuador



Figura 5.4.3. Supervisión a distancia y manipulación remota

La aplicación en línea también permite la manipulación a distancia de la servovalvula, donde los alumnos pueden incluso manipular desde otro edificio la servoválvula haciendo un clic en el panel remoto, lo que activen o desactiven en la interfaz en internet llegara y alterara directamente a la interfaz que se encuentra en la planta y regularan el flujo de vapor, con la debida autorización del profesor o



Figura 5.4.4. Supervisión a distancia y manipulación remota

académico que este ejecutando la práctica,

5.5. Implementación en prácticas de laboratorio



Figura 5.5.1. Practica con alumnos de Termodinámica



Figura 5.5.2. Integración de la interfaz dentro de las prácticas

Se realizó una práctica dentro de la materia Termodinámica del grupo 2313 del semestre 2016-2 a cargo del M.C Jorge Vázquez Cervantes. Fue muy importante la participación activa de los alumnos en el desarrollo de la práctica los cuales se encontraban a una distancia segura de la Turbina Coppus y supervisaron el proceso desde la interfaz principal proyectada en una pantalla del laboratorio donde los alumnos pudieron supervisar la evolución del proceso.

Esta fue de las primeras pruebas piloto para conocer la opinión de los alumnos al realizar las prácticas de térmica, y fueron recibidas muy buenas opiniones y sugerencias, pero lo importante es que se empieza a implementar una nueva forma de operar el ciclo Rankine y de obtener información de esta planta térmica, garantizando la seguridad de alumnos y acercarlos a tecnologías SCADA.

Finalmente se realizó la práctica del Ciclo Rankine y Turbina de Vapor dentro de la materia Laboratorio de Maquinas Térmicas del grupo I703 al inicio del semestre 2017-I a cargo del ING. Everardo Esquivel Sánchez. El profesor Everardo realiza sus prácticas de máquinas térmicas de manera que un grupo de alumnos operen el equipo en el L2 mientras se hace una transmisión por video conferencia a una sala de computo donde se encuentra el resto del grupo, además de transmitir practicas a otras escuelas y universidades mediante una transmisión por video, lo que se realizo fue integrar el link de la aplicación web VI en línea para que sus alumnos pudieran supervisar y controlar de manera remota sistemas de automatización por un navegador Web desde la sala de computo del LI de la Fes Aragón.

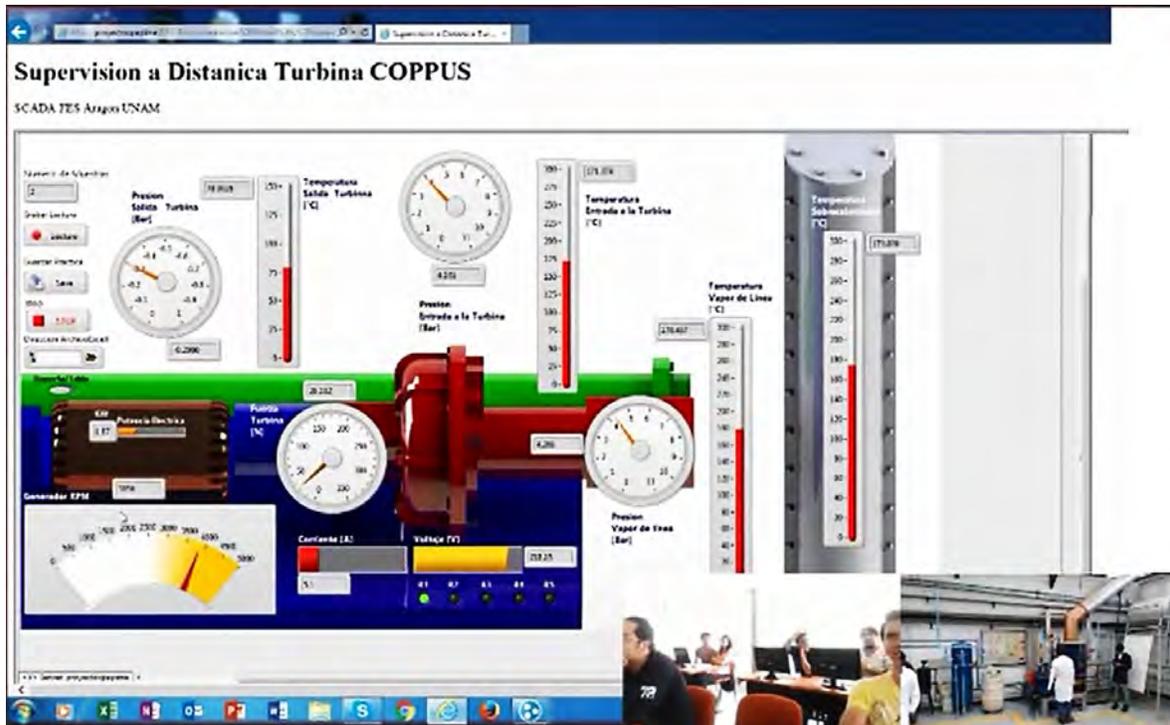


Figura 5.5.3. Supervisión remota de la interfaz dentro de las prácticas de máquinas térmicas

En la imagen se puede observar en la parte inferior derecha un recuadro de video donde los alumnos operan el ciclo Rankine de la fes Aragón en el Laboratorio L2, en el siguiente recuadro pequeño se observa a los alumnos de máquinas térmicas tomando la clase y visualizando la interfaz desde la sala de computo del Edificio LI, se observa en la toma principal la interfaz fue transmitida a través de internet Explorer, los alumnos pudieron acceder a ella en línea utilizando el link: donde está alojada la aplicación http://proyectospapime:8000/Instrumentacion%20Virtual%20y%20supervision%20DAQ%20HIST.lvjproj_My%20Computer_Turbina%20de%20Vapor%20DAQ%2BServoalvula%20Historicos.html, en la computadora principal que tenía instalado el hamachi se proyectó para que los alumnos la supervisaran junto con la transmisión del video de la operación del ciclo, los alumnos le dieron seguimiento al desarrollo de la práctica supervisando en cualquier instante como evolucionaban las temperaturas , presiones ,rpm, fuerza y demás variables de la turbina de vapor.

El conjunto de videos de la operación del ciclo, el video de la sala donde se encontraban los alumnos y la interfaz para la supervisión de la turbina COPPUS fueron retransmitidos en un video que fue subido a la red para que incluso desde otras universidades del país se estuviera dando seguimiento a la práctica, este método ya es comúnmente utilizado en las prácticas de máquinas térmicas gracias al profesor encargado del grupo, esta interfaz colabora y se integra con este método de enseñanza con el objetivo de hacer didáctica y comprensible la visualización de los instrumentos del ciclo que en este caso son instrumentos virtuales que se pueden observar permitiendo al alumno consultar la evolución del proceso en cualquier instante de una manera gráfica muy intuitiva adquiriendo valores incluso de estas variables.

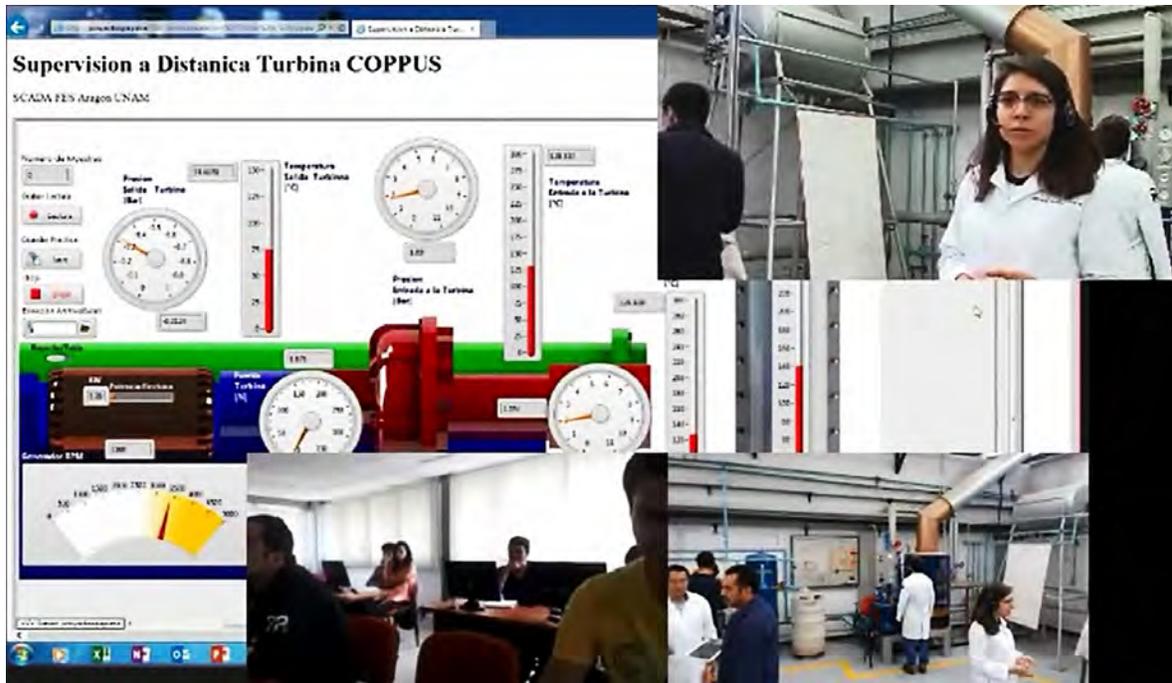


Figura 5.5.4. Acceso a la interfaz web mediante internet Explorer

Cada alumno podría tener en su navegador web la interfaz en línea, pero dependemos también del servidor de hamachi que si se desea un mayor número de usuarios se debe de pedir una licencia nueva, de momento se puede seguir utilizando la interfaz para las practicas aunque solo se monitoree en una computadora esta puede proyectarse en el salón ya que se cumple el objetivo de transmitir datos desde la interfaz que se encuentra en la computadora del I2 que obtiene datos de los sensores y los publica en el web server de National Instruments, de esta manera supervisar y controlar de manera remota sistemas de automatización por un navegador Web manipulando directamente la interfaz a través de esta aplicación en línea.

Conclusiones

Se demostró la funcionalidad de la interfaz al poderla visualizar en internet y supervisar la planta en dispositivos móviles en tiempo real, además se integró en el semestre 2016-2 y 2017-1 a las prácticas de Termodinámica y Laboratorio de Maquinas Térmicas donde los alumnos tuvieron acceso a la interfaz en internet y supervisaron remotamente la turbina del laboratorio desde otro edificio de la facultad garantizando de esta forma la seguridad de la mayoría de los alumnos al realizar la práctica, de manera que actualmente ya se está utilizando y está funcionando, de igual manera se logró manipular la servovalvula desde la interfaz evitando que los alumnos lo realicen manualmente evitando que el alumno sufra quemaduras y aumentando su integridad física.

Se actualizo el equipo de instrumentación de la turbina con 3 sensores de Presión, 1 Encoder y 1 Celda de Carga, también se desarrolló e instalo un Armario de Control que contiene 2 tarjetas de adquisición de datos DAQs, 1 fuente de poder 24 V, 2 transductores conversores de señal, de esta manera se moderniza el equipo del laboratorio de máquinas térmicas teniendo un laboratorio mejor equipado con sistemas de instrumentación virtual y automatización industrial.

Las mediciones de presión, temperaturas, carga y velocidad angular adquiridas a través de los nuevos sensores e instrumentos virtuales comparados con la instrumentación original de la Turbina concuerdan satisfactoriamente, al compararlos se observó que los instrumentos virtuales tienen bastante exactitud con el valor real, además que tienen la ventaja de mostrar el valor numérico con cifras decimales de la medición siendo mucho más preciso el instrumento virtual.

Los sensores de presión utilizados Setra 522 y 209 nos dan un error de exactitud de $\pm 0.25\%$. Los termopares tipo J de 0.75% siendo los termopares los sensores más susceptibles a histéresis, el Encoder y su transductor de 0.3% y la celda de carga y su transductor de 0.01% , con lo que se concluye que los errores de exactitud para la mayoría de los sensores son muy bajos, mediante las DAQs se puede filtrar y reducir los errores de histéresis para termopares, de esta forma se confirma y se garantiza la confiabilidad en las mediciones.

Los costos en conjunto de todos los equipos instalados; tarjetas de adquisición de datos, transductores, sensores y software oscila entre 90 000 y 100 000 pesos moneda nacional, sin agregar el costo de la programación de la interfaz, instalación y calibración. Comparado con el costo que comúnmente tienen estos sistemas industriales que oscilan entre los 400 000 y 700 000 pesos.

El sistema de instrumentación virtual y Supervisión a distancia traerá beneficios a más de 800 alumnos por semestre, además de que al ser un sistema que se puede supervisar remotamente permite impartir prácticas a distancia beneficiando a otras instituciones carentes de laboratorios o equipo de automatización interesados en los temas de generación de energía eléctrica y termodinámica, también abre la posibilidad de impartir cursos a distancia y de capacitación profesional relacionados con sistemas Mecatrónicas, Instrumentación Virtual y Automatización Industrial.

Referencias

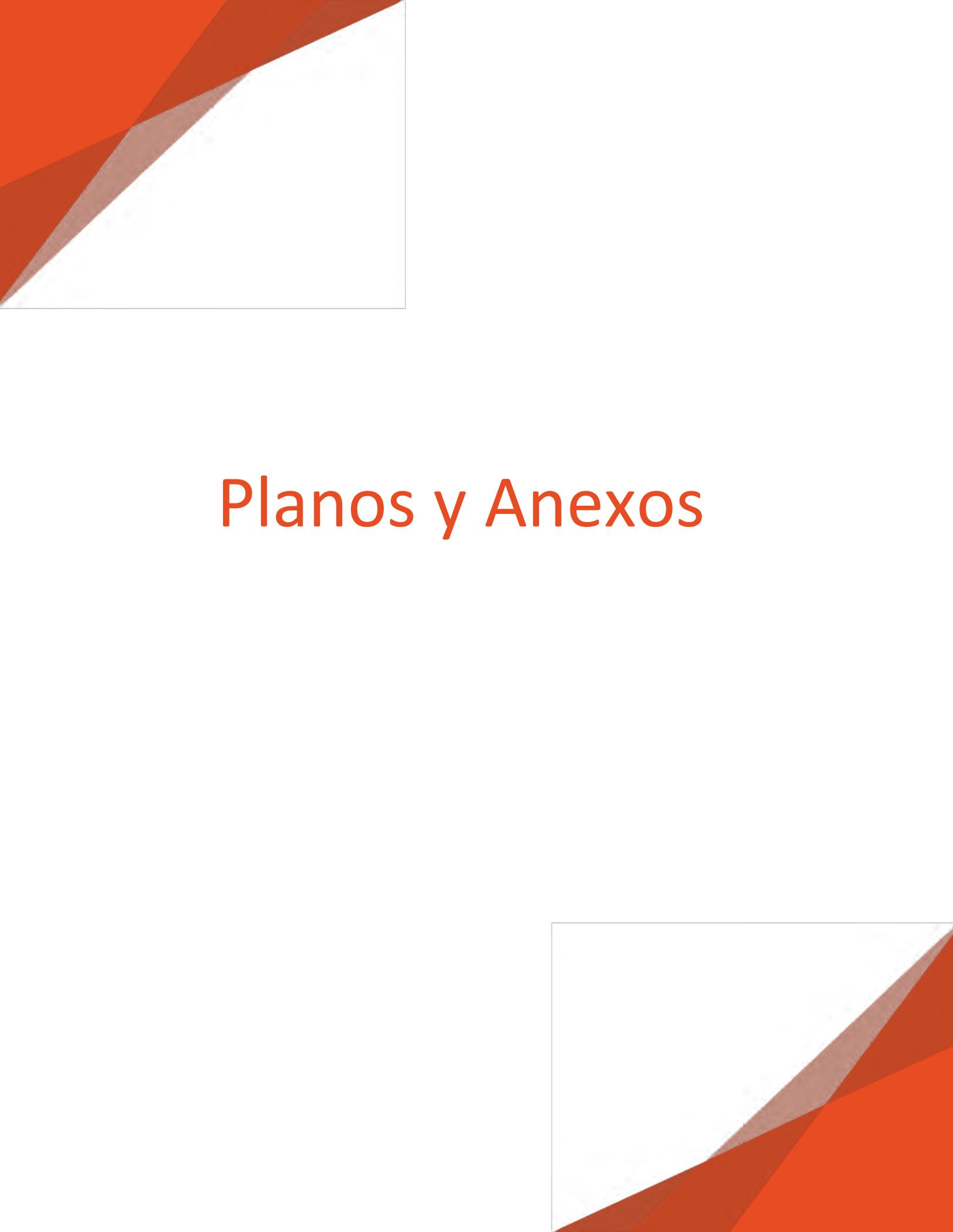
- [1] Nicolas, S. A. (2013). *Sistema de Supervision y Adquisicion de datos para un ciclo Rankine*(Tesis de Licenciatura). Nezahualcoyot: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Facultad de Estudios Superiores Aragon.
- [2] Velazquez, R. (2015). *Diseño de una servoválvula para una turbina Coppus* (Tesis de licenciatura). Nezahualoyot: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Facultad de Estudios Superiores Aragon.
- [3] Millan, C. (2016). *Diseño y construcción de control de Servoválvulas para cabezal de turbina COPPUS tipo RLA.* (Tesis de Licenciatura). CU: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Facultad de Ingenieria.
- [4] Chacon, R. (2002). La Instrumentacion Virtual en la Enseñanza de la Igenieria Electronica. *Accion Pedagogica*, 80-89. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2973136.pdf>
- [5] National Instruments. (07 de Febrero de 2008). *Instrumentacion Virtual e Instrumentacion Tradicional*. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208055/Unidad_1/1.Introduccion_a_la_instrumentacion_virtual.pdf
- [6] Romero, C., & Castro, C. d. (s.f.). *Introduccion a SCADA*. Obtenido de <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>
- [7] *Termopares*. (s.f.). Obtenido de <http://www.unirioja.es/cu/lzorzano/jk.htm>
- [8] *20 C Termopares*. (s.f.) Obtenido de <http://users.salleurl.edu/~se04635/20C%20Termopares.pdf>
- [9] JMIndustrial. (s.f.). *Tabla de Termopares*. Obtenido de https://www.jmi.com.mx/catalogo_sensores/Tablas_Termopares.pdf
- [10] OMEGA. (2016). *Galgas Extensiométricas. ¿que son las galgas extensiométricas?* Obtenido de <http://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiométricas.html>
- [11] Celda de Carga. (2015). *¿ Que es una celda de carga?* Obtenido de <http://celdadecarga.com/que-es-una-celda-de-carga/>
- [12] Rice Lake. (2010). *Load Cell and Weight Module Handbook Manual*. Obtenido de https://www.ricelake.com/Portals/0/Resources/View/File/lcwm_handbook.pdf
- [13] Eltra. (2000). *Encoder Incremental descripcion general*. Obtenido de <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf>
- [14] West Instruments de Mexico. (s.f.). *Manual de aplicacion de Encoders*. Obtenido de <http://www.westmexico.com.mx/pfd/dynapar/catalogos/4.-Manual%20de%20Aplicacion%20de%20Encoders.pdf>
- [15] Control e Instrumentacion Industrial. (febrero de 2016). *Encoders*. Obtenido de <http://ceiisa.blogspot.mx/2015/03/encoders.html>

- [16] Bolton, W. (2013). *Mecatronica, Sistemas de control electronico en la Ingenieria Mecanica y Electrica*. Alfaomega.
- [17] UNR. (s.f.). *Conversion Tension-Frecuencia, Frecuencia-Tension*. Obtenido de http://www.fceia.unr.edu.ar/eca2/Files/Apuntes/CONVERSORES%20TENSION%20-%20FRECUENCIA%20%20_V-2010_
- [18] National Instruments. (2016). *¿Que es Adquisicion de Datos?* Obtenido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- [19] National Instruments. (s.f.). *NI cDAQ-9191 - Data Sheet - National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-371>
- [20] National Instruments. (s.f.). *NI-DAQ.mx*. Obtenido de <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-268/lang/es>
- [21] National Instruments. (2013). ***Introducción al panel de control de datos “Data Dashboard” para LabVIEW***. Obtenido de <http://www.ni.com/tutorial/13757/es/>
- [22] National Instruments. (s.f.). *LabVIEW Web UI Builder*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/11602/en/>
- [23] SETRA. (s.f.). *West Instruments Mexico, Hoja de Datos Transductor de Presion Setra 522*. Obtenido de http://westmexico.com.mx/pfd/setra/fichas/trans_uso_gral/industriales/5.-Estandar%20Serie%20522.pdf
- [24] SETRA. (2013). *West Instruments Mexico, Catalogo, Hoja de datos de Transductor de Presion Setra 209, pag, 48-51*. Obtenido de http://westmexico.com.mx/pfd/setra/catalogos/HVAC_Catalogo_2013.pdf
- [25] Rice Lake. (s.f.). *Hoja de Datos de Celda de Carga RL 20000B_75*. Obtenido de <https://www.ricelake.com/es-mx/productos/detalles-del-productos/rl20000-alloy-steel-s-beam-load-cell#/resources-downloads>
- [26] Autonics. (s.f.). *Hoja de Datos de Encoer Incremental ES05*. Obtenido de https://www.autonics.com/products/products_detail.php?catecode=01/06/01&db_uid=60?catecode=01/06/01&db_uid=49?catecode=01/06/01&db_uid=51
- [27] PHOENIX CONTACT. (s.f.). *Instrucciones de Montaje, Amplif. separación - MCR-C-U-I- 4-DC - 2814537*. Obtenido de <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/mx?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2814537>
- [28] LAUMAS. (s.f.). *Ficha de producto de Transductor de peso analogico y digital*. Obtenido de <http://www.laumas.com/es/producto/tlb-transmisor-de-peso-analogico-y-digital-rs485/>
- [29] National Instruments. (2016). *Datasheet NI 9213*. Obtenido de http://www.ni.com/pdf/manuals/374916a_02.pdf
- [30] National Instruments. (2016). *Datasheet NI 9208*. Obtenido de http://www.ni.com/pdf/manuals/375170a_02.pdf

- [31] National Instruments. (s.f.). *NI 9213 Calibration Procedure*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/372676a.pdf>
- [32] National Instruments. (s.f.). *GETTING STARTED GUIDE NI 9208*. Obtenido de http://www.ni.com/pdf/manuals/375170b_01.pdf
- [33] National Instruments. (s.f.). *User Guide and Specifications NI 9923*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/375923c.pdf>
- [34] Microsoft. (s.f.). *Red Ad-Hoc Inalámbrica en Windows 8*. Obtenido de <https://social.technet.microsoft.com/wiki/contents/articles/19131.red-ad-hoc-inalambrica-en-windows-8-es-es.aspx>
- [35] National Instruments. (s.f.). *¿Que es CJC?* Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/79E598F0671EE6F58625799E006C9D11>

Bibliografía

- Bolton, W. (2013). *Mecatronica, Sistemas de control electronico en la Ingenieria Mecanica y Electrica*. Alfaomega.
- Ezquivel, E. (s.f.). *Apuntes de Termodinamica*.
- Harold E, S. (s.f.). *Instrumentacion Industrial*. Limusa.
- National Instruments. (s.f.). *Creating and Accessing a LabVIEW Web Service (Real-Time, Windows)*. Obtenido de https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361K-01/lvhowto/build_web_service/
- National Instruments. (s.f.). *Getting Started with the LabVIEW Web UI Builder*. Obtenido de http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373286A-01/uibuilder/wuib_gsg1/
- National Instruments. (s.f.). *Instalar y Configurar Chasis Compaq DAQ*. Obtenido de <http://www.ni.com/getting-started/set-up-hardware/data-acquisition/esa/compactdaq>
- Werner G, H. (s.f.). *Instrumentacion para Medicion y Control*. Editorial Continental.



Planos y Anexos

5221-150P-G-2M-11-E1

Performance Data

Accuracy (RSS)* (at constant temp)	±0.25% Full Scale ±0.15% Full Scale, Optional
Thermal Effects**	
Compensated Range °F (°C)	-5 to +180 (-20 to +80)
Accuracy 0.25% Full Scale	
Zero Shift %FS/100°F (100°C)	0.8 (1.5)
Span Shift %FS/100°F (100°C)	0.8 (1.5)
Accuracy = 0.15% Full Scale	
Zero Shift %FS/100°F (100°C)	0.5 (1.0)
Span Shift %FS/100°F (100°C)	0.5 (1.0)
Long-Term Stability	0.2% FS/year
Proof Pressure	2 x FS (1.5 x FS for 400 Bar, >= 5000 PSI)
Burst Pressure	>35 x FS <= 100 Psi (6 Bar) >20 x FS <= 1000 Psi (60 Bar) >5 x FS <= 6000 Psi (400 Bar)
Response Time	0.5 ms

*RSS of Non-Linearity, Non-Repeatability and Hysteresis.
**Units calibrated at nominal 70°F. Maximum thermal error computed from this datum.

Pressure Media

Liquids or gases compatible with 17-4 PH Stainless Steel
*Note: Hydrogen not recommended for use with 17-4 PH Stainless Steel

Specification subject to change without notice.

Model 522 Specifications

Environmental Data

Temperature	
Operating* °F (°C)	for Elec. Code E1 -40 to +260 (-40 to +125) for Elec. Code N1 -5 to +180 (-20 to +80) for Elec. Code NA -5 to +125 (-20 to +50)
Storage °F (°C)	for Elec. Code E1 -40 to +260 (-40 to +125) for Elec. Code N1 -5 to +180 (-20 to +80) for Elec. Code NA -5 to +125 (-20 to +50)
Vibration	70g Peak to Peak Sinusoidal, 5 to 2000 Hz (Random) 100g Steady Acceleration in any Direction 0.32% F
Acceleration	100g Steady Acceleration in any Direction 0.32% F
Shock	20g, 11 ms, per MIL-STD-883E Method 516.4 Procedure

*Operating/Storage temperature limits of the connector only.

Electrical Data (Millivolt)

Circuit	4-Wire (+Exc, -Out, +Out, -Exc)
Excitation	10 VDC (15 VDC Max.) Regulated
Output*	100 mV (10mV/V)
Bridge Resistance	2600-6000 Ohms

*Zero output is factory set to 1.0% of Full Scale
*Span output is factory set 1.0% of Full Scale

Electrical Data (Voltage)

Circuit	3-Wire (Exc, Out, Com)
Excitation	1.5 VDC Above Span to 35 VDC**
Output*	0 to 5 VDC, 0 to 10 VDC, 0.5 to 5.5 VDC, 1 to 5 VDC, 1 to 6 VDC, 1 to 11 VDC, 0.1 to 5.1 VDC, 0.2 to 10.2 VDC

Current Consumption*** Approx. 6 mA @ 7.5 VDC output

*Zero output is factory set to <1.0% of Full Scale

**Span output is factory set <1.0% of Full Scale

**Temperatures > 100°C / 212°F supply is limited to 24 VDC

*** Minimum Load Resistance: (FS output / 2) Volts

Electrical Data (Current)

Circuit	2-Wire
Output*	4 to 20 mA
Loop Supply Voltage	24 VDC (7-35 VDC)**
Maximum Loop Resistance	(Vs-7) x 50 Ohms

*Zero output factory set to within ±0.16 mA

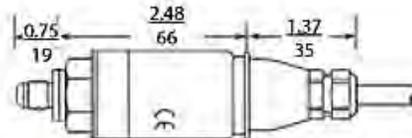
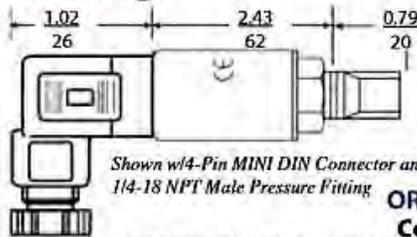
*Span output factory set to within ±0.16 mA

**Temperatures > 100°C / 212°F supply is limited to 24 VDC

Physical Description

Case	316 SS, 17-4 PH SS
Ratings	IP65 for Elec. Codes E1, N1 IP67 for Elec. Code NA (3ft Depth Max.)
Wetted Parts	17-4 PH Stainless Steel
Electrical Connection	See Below
Pressure Fitting	See Ordering Information Below
Weight	3.5oz (100g)

Outline Drawings



ORDERING INFORMATION

Code all blocks in table.
Example: Part No 5221030PG1M11E1F - For a Model 522 Pressure Transducer, 30 PSI, Gauge Pressure, 1/8-27 NPT Male Pressure Fitting, 4-20 mA, 4-Pin DIN Connector, 0.25% Accuracy

5	2	2	1									
Model	Range		Pressure	Pressure Fitting	Output	Elec. Termination	Accuracy	Option				
5221 = 522	015P = 15 PSI	001B = 1 BAR	G = Gauge	1M = 1/8-27 NPT Male	BP = 100 mV	E1 = 4-Pin MINI DIN Connector	F = 0.25% FS	A = Intrinsic Safe (ETL approved for Class I, Div. 1, Groups C & D, hazardous areas.)				
	030P = 30 PSI	0R6B = 1.6 BAR	A = Absolute*	2M = 1/4-18 NPT Male	11 = 4-20 mA	N1 = NEMA 4 Cable	S = 0.15% FS, (Optional)					
	060P = 60 PSI	2R5B = 2.5 BAR	C = Compound*	5M = 1/4-NPT Male w/ Snubber	2R = 1-6 VDC	NA = IP67 Weatherproof Cable Gland						
	100P = 100 PSI	004B = 4 BAR	*Compound and absolute ranges available through 300psi only.	2F = 1/4-18 NPT Female	28 = 1-5 VDC							
	150P = 150 PSI	006B = 6 BAR		4M = 1/2-14 NPT Male	24 = 0.3-3.5 VDC							
	200P = 200 PSI	010B = 10 BAR		J7 = 7/16-20 UNF Male SAE #4 (J1926-2)	2B = 0-5 VDC							
	300P = 300 PSI	016B = 16 BAR		J9 = 9/16-18 UNF Male SAE #6 (J1926-2)	2C = 0-10 VDC							
	500P = 500 PSI	025B = 25 BAR			29 = 0.2-10.2 VDC							
	600P = 600 PSI	040B = 40 BAR			22 = 0.1-5.1 VDC							
	10CP = 1000 PSI	060B = 60 BAR										
	15CP = 1500 PSI	100B = 100 BAR										
	20CP = 2000 PSI	160B = 160 BAR										
	30CP = 3000 PSI	250B = 250 BAR										
	40CP = 4000 PSI	400B = 400 BAR										
	50CP = 5000 PSI	600B = 600 BAR										
	60CP = 6000 PSI											
	000P = -14.7 to 0 PSI											
	015P = -14.7 to 15 PSI											
	045P = -14.7 to 45 PSI											
	085P = -14.7 to 85 PSI											
	135P = -14.7 to 135 PSI											
	185P = -14.7 to 185 PSI											
	285P = -14.7 to 285 PSI											

Please contact factory for configurations not shown.

While we provide applications assistance on all Setra products, both personally and through our literature, it is the customer's responsibility to determine the suitability of the product in the application.

159 Swanson Road, Boxborough, MA 01719/Tel: 978-263-1400;
Toll Free: 800-257-3872; Fax: 978-264-0292; email: sales@setra.com

SSP522 Rev. A 04/16/03



2091-Z01P-V-2M-11-A1

Model 209 Pressure Transducers

GAUGE PRESSURE

ORDERING INFORMATION

2 0 9 1 - [] [] [] [] - [] - [] [] - [] [] - [] [] - [] [] - [] []

Model	Range Code	Pressure Type	Pressure Fitting	Output	Elec. Termination	Options
2091 = 209	See Table 1 Below	G Gauge	2M 1/4" NPT Male	11 4-20 mA	XX Cable length in feet ¹	H High Overpressure Capability (Only available on 25 PSI up to 1500 PSI Pressure Ranges)
		C Compound	J7 7/16" SAE Male	24 0.5 to 5.5 VDC	P1 Packard (3-Pin) ²	
		S Sealed*	1M 1/8" NPT Male	28 1 to 6 VDC	P3 Packard (4-Pin) ³	
		V Vacuum	L4 1/4 Female SAE	45 0.5 to 4.5 VDC	HZ Hirschmann, ("Mini") ⁴	
			G4 1/2" A Male		A1 Terminal Block w/ Conduit Cover	
			P1 1/8" NPT Female Bulkhead (Available on Ranges > 50 PSI)			

RANGE CODE	PSI
001P	0 to 1
002P	0 to 2
005P	0 to 5
010P	0 to 10
025P	0 to 25
050P	0 to 50
100P	0 to 100
200P	0 to 200
250P	0 to 250
500P	0 to 500
10CP	0 to 1000
15CP	0 to 1500
20CP	0 to 2000
30CP	0 to 3000
50CP	0 to 5000
10KP	0 to 10000
Z01P	0 to -14.7 PSI

¹ I.e., 2 feet = 02
² Order Setra Part #577 for Mating Connector
³ Order Setra Part #857 for Mating Connector
⁴ Order Setra Part #590 for Mating Connector

Note: Order mating connectors direct from manufacturer:
 Mtk. Part #12103881-L/#12065287/#1203-4413 = Setra's Part #577
 Mtk. Part #12065298/#12066176/#12048086 = Setra Part #857
 Mtk. Part #932157-106 = Setra Part #590

*Sealed Version Available on 200 PSI Range and Above)
 NOTE: Standard configuration consists of: PSI Range, 1/4" NPT Fitting and 2 feet of cable (up to 25 feet of cable can be ordered) . (Minimum quantities apply for all other configurations. Consult a Setra Applications Engineer for assistance.

Ordering Example: 2091001PG2M11XX = Model 209, 0 to 1 PSI Range, Gauge Pressure, 1/4" NPT Male Fitting, 4 to 20 mA Output, 2 ft. Cable.

SEP-2014 REV. J 07/2014

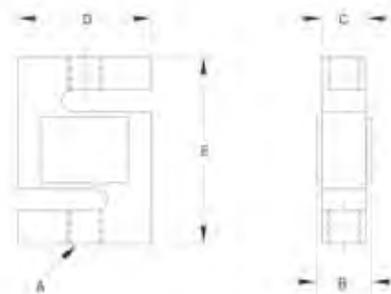
RL-2000B-751b

RL20000

S-Beam, Alloy Steel, NTEP Certified 1:5000 III/1:10,000 IIII



Picture is a representation of actual product



Specifications

Full Scale Output:
3.0 mV/V

Output Resistance:
350 (± 3) ohms

Input Resistance:
385 (± 5) ohms

Material/Finish:
High-alloy steel, nickel plated

Temperature:
Compensated range
14° F to 104° F/-10° C to 40° C
Operating range
-40° F to 150° F/-40° C to 65° C

Seal Type:
Environmentally sealed, IP67

Safe Overload:
150% full scale

Rated Excitation:
5-10 VDC (15 V maximum)

Combined Error:
0.02%

Insulation Resistance:
5,000 megohms

Cable Length:
20 ft (6.1 m)

Cable Diameter:
0.200 polyurethane jacket

Cable Color Code:

Red + Excitation
Black - Excitation
Green + Signal
White - Signal

Warranty:
Two-year limited warranty

Approvals:



Dimensions

RATED CAPACITY	A	B	C	D	E
lb/inches					
25-300	1/4-28 UNF-2B	0.75	0.50	2.00	2.50
500-1,500	1/2-20 UNF-2B	1.00	0.75	2.00	2.50
2,000-2,500	1/2-20 UNF-2B	1.25	1.00	2.00	2.50
3,000	1/2-20 UNF-2B	1.25	1.00	3.00	4.00
5,000-10,000	3/4-16 UNF-2B	1.25	1.00	3.00	4.00
15,000	1-12 UNF-2B	1.50	1.25	4.00	5.50
20,000	1 1/4-12 UNF-2B	2.25	2.00	5.00	7.00
kg/mm					
11.3-136.1	1/4-28 UNF-2B	19.1	12.7	50.8	63.5
226.8-680.4	1/2-20 UNF-2B	25.4	19.1	50.8	63.5
907.2-1,134.0	1/2-20 UNF-2B	31.8	25.4	50.8	63.5
1,360.8	1/2-20 UNF-2B	31.8	25.4	76.2	101.6
2,268.0-4,535.9	3/4-16 UNF-2B	31.8	25.4	76.2	101.6
6,803.9	1-12 UNF-2B	38.1	31.8	101.6	139.7
9,071.9	1 1/4-12 UNF-2B	57.2	50.8	127.0	177.8

Incremental ϕ 50mm Shaft Type

E50S-8-250-3-T-24

Diameter ϕ 50mm shaft type Incremental Rotary encoder

■ Features

- Suitable for measuring Angle, Position, Revolution, Speed, Acceleration, Distance
- Power supply : 5VDC, 12-24VDC \pm 5%
- Cost-effective

■ Applications

- Various tooling machinery, packing machine and general industrial machinery etc.

! Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



■ Ordering information (Former name : ENB)

E50S	8	5000	3	2	24	
Series	Shaft diameter	Pulse/1Revolution	Output phase	Output	Power supply	Cable
Diameter ϕ 50mm, shaft type	ϕ 8mm	Refer to resolution	2 : A, B 3 : A, B, Z 4 : A, \bar{A} , B, \bar{B} 6 : A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z}	T: Totem pole output N: NPN open collector output V: Voltage output L: Line driver output(*)	5 : 5VDC \pm 5% 24 : 12-24VDC \pm 5%	No mark: Normal type (*) 2C: Cable outgoing connector type

*Standard: E50S8-[PULSE]-3-N-24

*Standard: A, B, Z

*The power of Line driver is only for 5VDC

*Cable length : 250mm

■ Specifications

Item	Diameter ϕ 50mm shaft type of Incremental rotary encoder		
Resolution(P/R)	(Note1) *1, *2, *5, 10, *12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 1024, 1200, 1500, 1800, 2000, 2048, 2500, 3000, 3600, 5000, 6000, 8000 (Not indicated type is available to customize)		
Electrical specification	Output phase	A, B, Z phase (Line driver : A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z} phase)	
	Phase difference of output	Output between A and B : $\frac{T}{4} \pm \frac{T}{8}$ (T=1cycle of A phase)	
	Control output	Totem pole output	• Low \Rightarrow Load current: Max. 30mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC • High \Rightarrow Load current: Max. 10mA, Output voltage (Power supply 5VDC): Min. (Power supply-2.0)VDC, Output voltage (Power supply 12-24VDC): Min. (Power supply-3.0)VDC
		NPN open collector output	Load current : Max. 30mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
		Voltage output	Load current : Max. 10mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
		Line driver output	• Low \Rightarrow Load current : Max. 20mA, Residual : Max. 0.5VDC • High \Rightarrow Load current : Max. -20mA, Output voltage : Min. 2.5VDC
	Response time (Rise/Fall)	Totem pole output	Max. 1 μ s
		NPN open collector output	Max. 1 μ s
		Voltage output	Max. 1 μ s
		Line driver output	Max. 0.5 μ s
	Max. Response frequency	300kHz	
	Power supply	• 5VDC \pm 5% (Ripple P-P: Max. 5%) • 12-24VDC \pm 5% (Ripple P-P: Max. 5%)	
	Current consumption	Max. 80mA (disconnection of the load), Line driver output: Max. 50mA (disconnection of the load)	
	Insulation resistance	Min. 100M Ω (at 500VDC)	
Dielectric strength	750VAC 50/60Hz for 1 minute (Between all terminals and case)		
Connection	Cable outgoing type, 200mm cable outgoing connector type		
Mechanical specification	Starting torque	(Note2) Max. 70gf \cdot cm (0.007N \cdot m)	
	Rotor inertia	Max. 80g \cdot cm ² (8 \times 10 ⁻⁷ kg \cdot m ²)	
	Shaft loading	Radial : Max. 10kgf, Thrust : Max. 2.5kgf	
	Max. allowable revolution	(Note3) 5000rpm	
Vibration	1.5mm amplitude at frequency of 10 ~ 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours		
Shock	Max. 75G		
Ambient temperature	-10 ~ 70 $^{\circ}$ C (at non-freezing status), Storage: -25 ~ 85 $^{\circ}$ C		
Ambient humidity	35~85%RH, Storage: 35~90%RH		
Protection	IP50 (IEC standard)		
Cable	ϕ 5mm, 5P, Length : 2m, Shield cable (Line driver output : ϕ 5mm, 8P)		
Accessory	ϕ 8mm coupling bracket		
Unit weight	Approx. 275g		
Approval	CE (Except for Line driver output)		

* **(Note1)** * pulse is only for A, B phase (Line Driver output is for A, \bar{A} , B, \bar{B} phase)

* **(Note2)** The lower torque than rated torque is optional.

* **(Note3)** Max. allowable revolution \geq Max. response revolution **[Max. response resolution (rpm) = $\frac{\text{Max. response frequency}}{\text{Resolution}} \times 60 \text{ sec}$]**

(A) Counter

(B) Timer

(C) Temp. controller

(D) Power controller

(E) Panel meter

(F) Tacho/Speed/Pulse meter

(G) Display unit

(H) Sensor controller

(I) Switching power supply

(J) Proximity sensor

(K) Photoelectric sensor

(L) Pressure sensor

(M) Rotary encoder

(N) Stepping motor & Driver & Controller

(O) Graphic panel

(P) Production stoppage models & replace-mail

TLB

DIGITAL - ANALOG WEIGHT TRANSMITTER WITH RS485

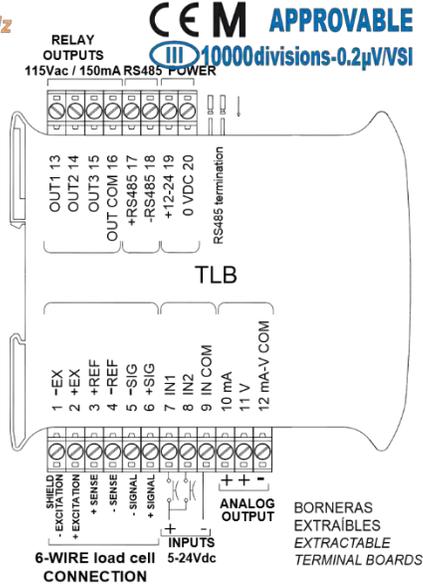
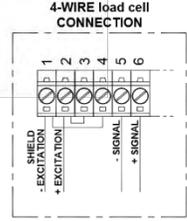
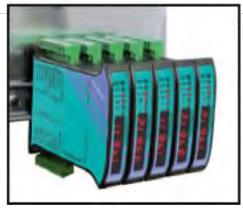
TLB	0-20 mA; 4-20 mA; 0-10 V; 0-5 V; ± 10 V; ± 5 V
OPCIONES BAJO PEDIDO :	OPTIONS ON REQUEST :
- 2 entradas analóg. 0-10 V, 10 bits que sustituyen a las entradas lógicas	- 2 Analog inputs 0-10V, 10 bits (they replace logic inputs)
- Memoria fiscal	- Alibi memory
- Comprobación inicial en combinación con ns módulo de pesado	- Initial verification (Legal Metrology)



- Convertidor A/D 24 bit (16000000 puntos) 4800Hz
- Divisiones de lectura 999999
- Frecuencia de adquisición 300 Hz
- A/D Converter 24bit (16000000 points) 4800Hz
- Display range 999999
- Conversion rate 300 Hz



Ejemplo de aplicación
Example of application



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ALIMENTACIÓN y POTENCIA ABSORBIDA
N° CÉLULAS DE CARGA EN PARALELO Y ALIM.
LINEALIDAD / LINEALIDAD SALIDA ANALÓGICA
DERIVA TÉRMICA / DERIVA TÉRMICA ANALÓGICA
CONVERTIDOR A/D
DIVISIONES MÁX. (rango de medición +/- 10 mV = sens. 2 mV/V)
RANGO DE MEDICIÓN MÁX.
SENSIBILIDAD MÁX. CÉLULAS DE CARGA EMPLEABLES
CONVERSIONES MÁX. POR SEGUNDO
RANGO VISUALIZABLE
N. DECIMALES / RESOLUCIÓN DE LECTURA
FILTRO DIGITAL / LECTURAS POR SEG.
SALIDAS LÓGICAS DE RELÉ
ENTRADAS LÓGICAS
PUERTO SERIE
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN
HUMEDAD (no condensante)
TEMPERATURA DE ALMACENAJE
TEMPERATURA DE TRABAJO
TEMPERATURA DE TRABAJO (APROBADO CE-M)

12 - 24 VDC +/- 10% ; 5 W
max 8 (350 ohm) ;
5VDC/120mA
< 0.01% Full Scale / < 0.01% F.S.
< 0.0005 % F.S. /°C < 0.003% F.S. /°C
24 bit (16000000 points) 4.8kHz
 ± 999999
 ± 39 mV
 ± 7 mV/V
300 conversions/sec.
- 999999 ; + 999999
0 - 4 ; x 1 x 2 x 5 x 10 x 20 x 50 x 100
0.012 - 7 sec / 5 - 300 Hz
N.3 - max 115 VAC / 150mA
N.2 - optoisolated 5 - 24 VDC PNP
RS485
2400, 4800, 9600, 19200, 38400,
115200
85 %
- 30°C + 80°C
- 20°C + 60°C
- 10°C + 40°C

TECHNICAL FEATURES

POWER SUPPLY and CONSUMPTION
No LOAD CELLS IN PARALLEL and SUPPLY LINEARITY / LINEARITY OF THE ANALOG OUTPUT
THERMAL DRIFT / THERMAL DRIFT OF THE ANALOG OUT.
A/D CONVERTER
MAX DIVISIONS (with measure range: +/- 10mV =2mV/V)
MEASURE RANGE
MAX LOAD CELL'S SENSITIVITY
MAX CONVERSIONS PER SECOND
DISPLAY RANGE
DECIMALS / DISPLAY INCREMENTS
DIGITAL FILTER / CONVERSION RATE
LOGIC RELAY OUTPUTS
LOGIC INPUTS
SERIAL PORT
BAUD RATE
HUMIDITY (condensate free)
STORAGE TEMPERATURE
WORKING TEMPERATURE
WORKING TEMPERATURE (CE-M APPROVED)

DATASHEET

NI 9213

16 TC, ± 78 mV, 24 Bit, 75 S/s Aggregate



- Spring-terminal connectivity
- 50 Hz/60 Hz noise rejection
- Up to 0.02 °C measurement sensitivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-earth isolation

The NI 9213 is a high-density thermocouple module for CompactDAQ and CompactRIO chassis. Designed for higher-channel-count systems, the NI 9213 adds thermocouples to mixed-signal test systems without taking up too many slots.

Warm-up time	15 minutes
--------------	------------

Input Characteristics

Number of channels	16 thermocouple channels, 1 internal autozero channel, 1 internal cold-junction compensation channel
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma
Sampling mode	Scanned
Voltage measurement range	± 78.125 mV
Temperature measurement ranges	Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, T, E, N, B, R, S thermocouple types)

Table 1. Timing Modes

Timing Mode	Conversion Time (Per Channel)	Sample Rate ¹ (All Channels ²)
High-resolution	55 ms	1 S/s
High-speed	740 μ s	75 S/s

Common-mode voltage range

Channel-to-COM	± 1.2 V minimum
COM-to-earth ground	± 250 V

DATASHEET

NI 9208

16-Channel, ± 20 mA, 24-Bit Analog Input Module



- 16 channels, current inputs, 500 S/s
- High-resolution mode with 50/60 Hz rejection; Vsup pins for external power routing (2 A/30 V max)
- ± 21.5 mA, 24-bit resolution
- 60 VDC, CAT I bank isolation
- Industry-standard 37-pin D-SUB connector
- -40 °C to 70 °C operating range, 5 g vibration, 50 g shock

The NI 9208 current input C Series module has 16 channels of ± 21 mA input with built-in 50/60 Hz rejection for noise rejection.

The NI 9208 has a standard 37-pin D-Sub connection for use with available cables and connector blocks, or the NI 9937 D-Sub connector kit. The NI 9937 contains a D-Sub to screw terminal accessory as well as a protective shell. With this kit, you can create a custom cable that plugs directly into the module, eliminating the need for a separate terminal block.

Input Characteristics

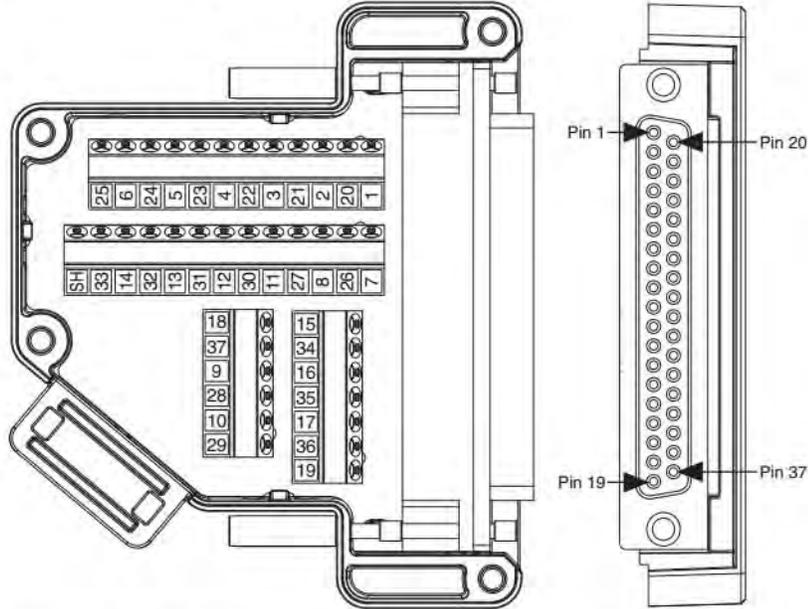
Number of channels.....	16 analog input channels
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC.....	Delta-Sigma
Sampling mode.....	Scanned
Input range	
Minimum.....	± 21.5 mA
Typical.....	± 22 mA
Conversion time (per channel)	
High-resolution mode.....	52 ms
High-speed mode.....	2 ms
Oversoltage protection, channel-to-.....	± 30 V max on one channel at a time

COM

Connecting the NI 9923

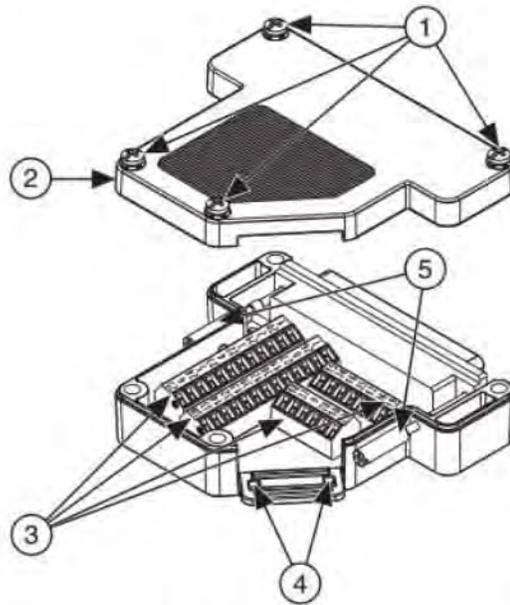
The NI 9923 provides connections for C Series 37-pin DSUB modules.

Figure 1. NI 9923 Terminal Assignments



7. Reinstall the top cover on the NI 9923 and tighten the four captive screws.

Figure 2. NI 9923 Parts Locator Diagram



1 Captive Screws	3 Terminals	5 Jackscrews
2 Top Cover	4 Strain Relief Holes	



MANUAL PARA LA INSTALACIÓN DEL HARDWARE PARA ADQUISICION DE DATOS DEL PROYECTO PAPIME PE10161

INTRODUCCIÓN

El presente manual surge como necesidad del proyecto para facilitar la instalación del Hardware requerido para la adquisición de Datos. Las Tarjetas de Adquisición de datos (DAQ) procesan, amplifican, acondicionan y filtran las señales obtenidas por los Sensores y las envían a la computadora.

Se espera que este manual sea muy útil para uso de toda la comunidad universitaria. Gracias.

Atte. Los responsables del proyecto.

Tarjeta de Adquisición de Datos NI 9213: es una tarjeta diseñada especialmente para la lectura de termopares. Contiene 16 canales correspondientes a 16 termopares, Cada canal cuenta con una impedancia, posteriormente la señal se amplifica, se filtra y es multiplexada para poder ser procesada a través del convertidor Analógico Digital de 24 bits



Figura1. DAQ NI 9213 para termopares. [6]

4 Instrumentación Virtual, Supervisión a distancia y Control para una planta Generadora de Energía

Mancilla Alonso Humberto, Carbajal Álvarez Gerardo, Vázquez Cervantes Jorge.

Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México.
Av. Rancho Seco s/n, Col. Impulsora, Nezahualcoyotl, Estado de México, C. P. 57130, México.

Resumen

El presente trabajo es resultado del proyecto UNAM DGAPA PAPIME PE101614, consistente en la actualización del Laboratorio de Máquinas Térmicas de la FES Aragón, implementando un sistema de supervisión y adquisición de datos de un ciclo Rankine con la finalidad de mejorar la calidad de las prácticas del Laboratorio, así como acercar a los alumnos de las áreas térmica y mecatrónica a la tecnología empleada en la industria.

Se implementó una interfaz programada en LabVIEW y utilizando tarjetas de adquisición de datos para procesar las señales de los sensores requeridos, además de publicar la interfaz en internet para acceder a ella a distancia, así como monitorear el estado de la planta también mediante dispositivos móviles como una Tablet.

Debido a las altas temperaturas y presiones, así como evitar accidentes y garantizar la seguridad del alumno, también se puede controlar la regulación del flujo de vapor en la turbina desde la interfaz activando una servoválvula, evitando el contacto directo del alumno con las zonas peligrosas.

El sistema proporciona mejores herramientas para la realización de prácticas beneficiando a 560 alumnos en promedio por semestre de las áreas de térmica y mecatrónica.

Palabras clave: Automatización, Adquisición, servoválvula

1. Introducción

En el proyecto del que emana este documento se analiza la necesidad de implementar un laboratorio con mejoras para elevar la calidad de la enseñanza de tópicos de termodinámica, así como garantizar la seguridad de los alumnos que

participan en las prácticas. Se describe el equipo del ciclo Rankine con el que cuenta la FES Aragón y posteriormente la selección de sensores y tarjetas de adquisición de datos necesarios. Se desarrolla una interfaz a la que se puede tener acceso a través de la red local y otra interfaz en una tablet que también permite monitorear el estado de las variables del sistema desde internet, dentro del mismo proyecto se diseñó y fabricó una servoválvula en la FES Aragón, la cual se activa desde esta interfaz.

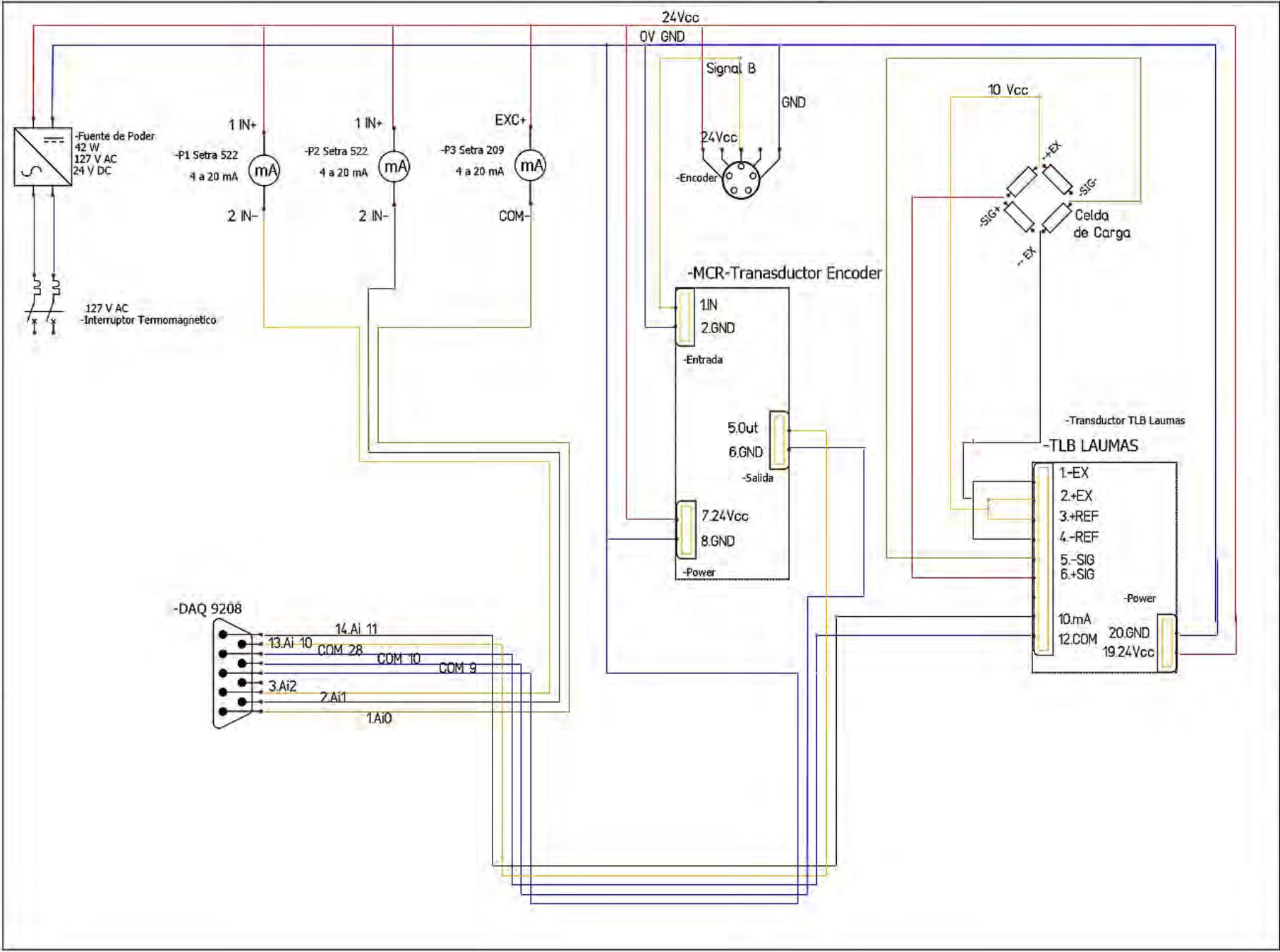
Mediante las pruebas realizadas, se demuestra que es viable la implementación de sistemas de adquisición de datos, los datos obtenidos se compararon con datos proporcionados de prácticas realizadas anteriormente, y se observó que las lecturas de temperatura tomadas con los termopares correspondían a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

2. Levantamiento

2.1 Identificación de la Necesidad

La generación de energía eléctrica en México es un sector industrial vital, la mayor parte es producida por plantas Termoeléctricas, por lo cual la Ingeniería Mecatrónica y Mecánica consolidan su importancia y surge la necesidad de las instituciones educativas en instruir ingenieros con conocimientos en Diseño de sistemas Térmicos así como Sistemas de Supervisión y Control afines a los métodos actuales.

Actualmente las plantas termoeléctricas se basan en ciclos de conversión de energía térmica a trabajo mecánico mediante la potencia de vapor, debido a esto se implementan sistemas de Supervisión y Control Automáticos que facilitan las actividades entre los operadores y los equipos mecánicos y también aumentan la seguridad de los operarios ya que restringen la interacción con



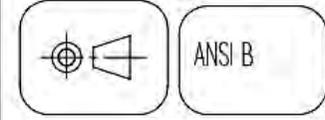
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentación Virtual y supervisión a Distancia Ciclo Rankine

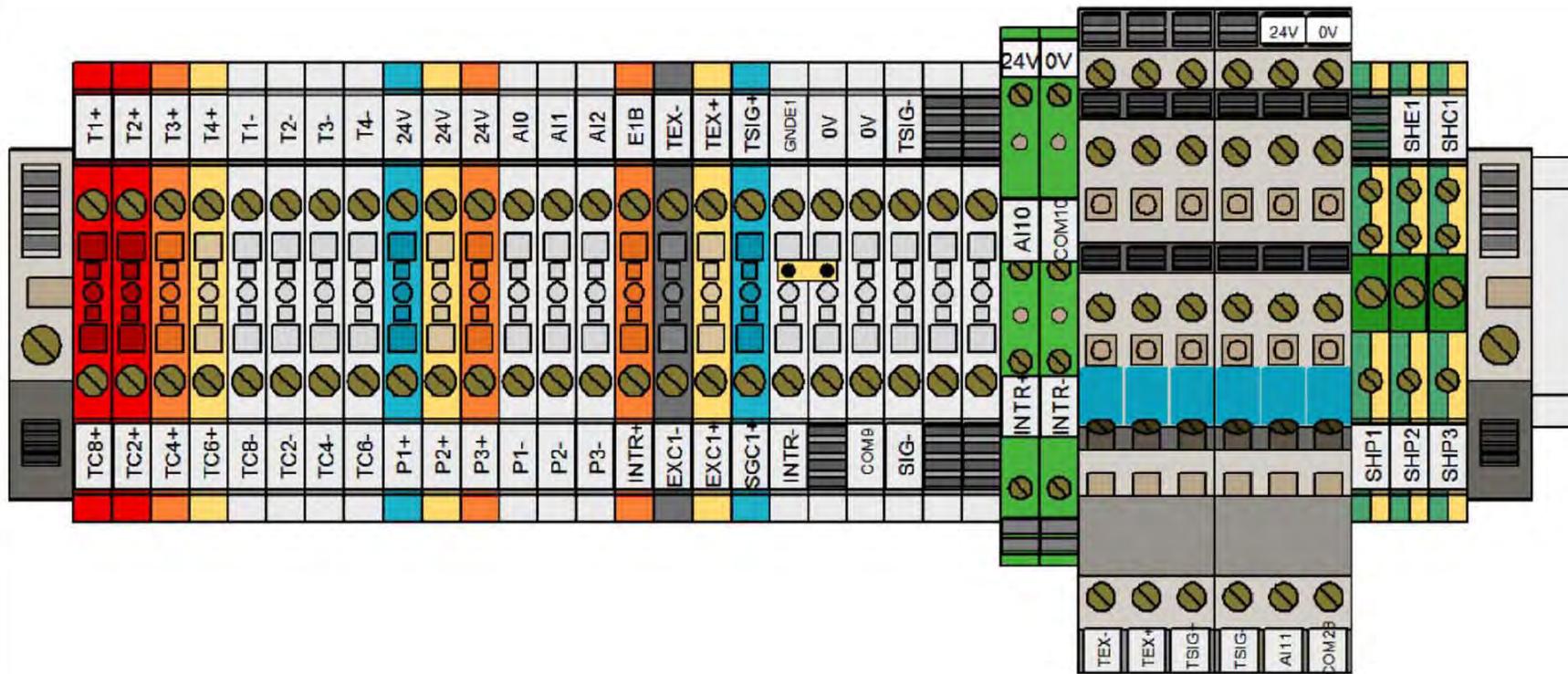
Título: Diagrama de Conexiones 9208

Descripción: Conexiones para DAQ 9208 con sensores, transductores, interruptor termomagnético y fuente de poder plano 1 de 3

Dibujo: GCA	Colas:
Revisó: HMA	Escaló:
Aprobó: HMA	Fecha Rev: 10/08/2016



La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el próximo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requiere la autorización previa del M. en I. Humberto Manólio Alonso.



1.MCR-CU-I-4-DC Tranductor para encoder

- 2.Transductor TLB Laumas
- 3. Clemas WDU-2.5 IGS

Etiqueta	Num. de PIN y descripcion
AI0	1.canal0DAQ9208
AI1	2.canal1DAQ9208
AI2	3.canal2DAQ9208
COM9	9.GndDAQ9208
COM10	10.GndDAQ9208
COM28	28.GndDAQ9208
AI10	13. canal10 DAQ9208
AI11	14. canal11 DAQ9208

Etiqueta	Num. de PIN y descripcion
P1+	1. IN+ Setra 522
P2+	1. IN + Setra 522
P3+	EXC+ Setra 209
INTR+	1. IN Transductor MCR
E1B	Señal B deEncoder
EXC1+	Vcc Celda Carga
SGC1+	Señal+ Celda Carga
TEX+	2. +Ex Laumas
TSIG+	6.+SIG Laumas
COM9	Gnd Comun para Sensores Presion

Etiqueta	Num. de PIN y descripcion
P1-	2. IN- Setra 522
P2-	2. IN- Setra 522
P3-	COM setra 209
INTR-	2.GND Transductor MCR
COM28	COM para Señal TLB
EXC1-	GND Celda Carga
SIG1-	Señal- Celda Carga
TEX-	1. -Ex Laumas
TSIG-	5.-SIG Laumas
GNDE1	Gnd Comun
COM10	COM para señal MCR



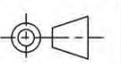
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentacion Virtual y supervision a Distancia Ciclo Ranking

titulo: Clemas de Distribucion de Señales

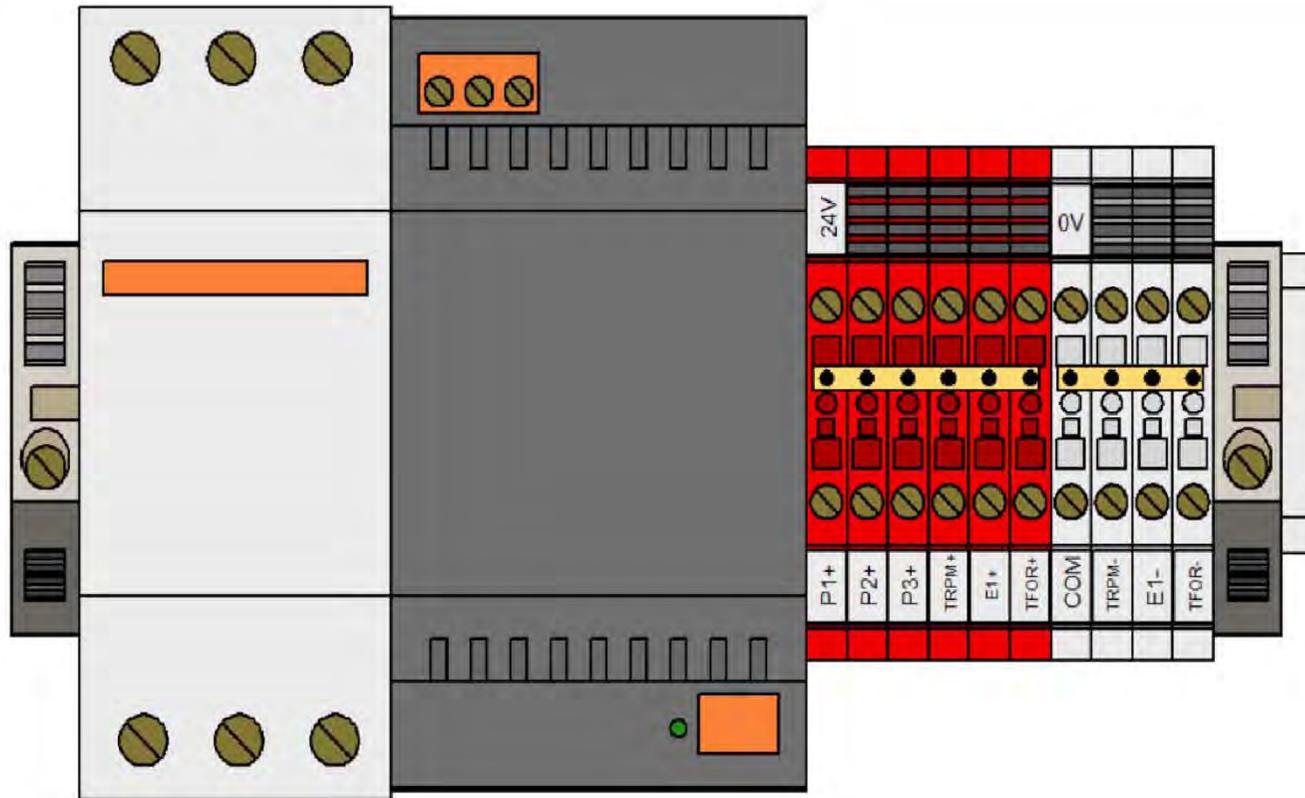
Descrip: Clemas de señalizacion para Sensores, Transductores y distribucion plano: 2 de 3

Dibujó: GCA Cotas:
Revisó: HMA Escala:
Aprobó: HMA Fecha Rev: 10/08/2016



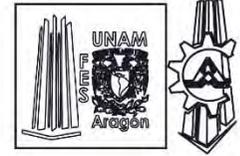
ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el préstamo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requerirá la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.



- | |
|--|
| 1. Interruptor Termomagnetico 127 VAC, Eaton |
| 2. fuente de poder 24 V , 2A 48 W Weidmuller |
| 3. Clemas WDU-2.5 IGS |

Etiqueta	Num. de PIN y descripcion
P1+	1. IN+ Setra 522
P2+	1. IN + Setra 522
P3+	EXC+ setra 209
TRPM+	7. VCC para Transductor MCR
E1+	Vcc. para Encoder
TFOR+	19. Vcc para TLB Laumas
TRPM-	8. Gnd para transductor MCR
E1-	Gnd. para Encoder
TFOR-	20. Gnd Laumas
COM	Gnd Comun



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentación Virtual y supervisión a Distancia Ciclo Rankine

título: Clemas de potencia

Descripción: Clemas de señalización para Fuente de poder e interruptor plano: 3 de 3

Dibujó: GCA

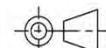
Cotas:

Revisó: HMA

Escala:

Aprobó: HMA

Fecha Rev: 10/08/2016



ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el préstamo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requerirá la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.

=F10 - Voltaje Alimentacion

+G1+L1-F1	
24 V	
P = 48W	U = 24V DC



24V AWG 18

=F5 - Presion Vapor Linea

+S1+P-1	
Setra 522	
Range = 0 a 150PSI	



=F6 - Presion entrada Turbina

+S1+P-2	
Setra 522	
Range = 0 a 150PSI	



=F7 - Presion Salida Turbina

+S1+P-3	
Setra 209	
Range = 0 a -14,7 PSI	



=F8 - Velocidad Turbina

+S1+E1-1	
ES05-250-3-T-24	
Range = 0 a 5000rpm	



+G1+L1-Clemas potencia



24V AWG 18
24V AWG 18
24V AWG 18
24V AWG 18

+G1+L2+C-Clemas Distribution



P1 4 a 20mA AWG18
P2 4 a 20mA AWG18
P3 4 a 20mA AWG18
E1 4 a 20mA AWG18

Descrip:Shepto de Gabinete DAQ 920 Para 2 de 2

+L3+D2 - NI 920B	
-2	
DAQ 920B	
CI = 16 canales	Range = +-22mA



AI11
AI10
AI2
AI1
AI0

24V AWG 18
24V AWG 18

E1 HIGH, LOW AWG 18

+G1+L2+A+A1-1	
MCR-C-U-I-4-DC	
Range = 4 a 20mA	



10V AWG 18

=F9+S1+C1-1	
RL 20000 B-75	
Range = 0 a 75 lb	



+G1+L2+A+A2-2	
TLB	
Range = 4 a 20 mA	



C1 4 a 20mA AWG 18

C1 -10 a10V AWG18



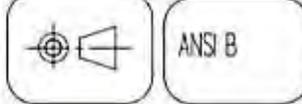
Universidad Nacional
Autonoma de Mexico
Facultad de Estudios
Superiores Aragon

Proyecto Instrumentacion Virtual y
supervision a Distancia Ciclo Rankine

Título Shepto de Gabinete 920B

Descrp:Shepto de Gabinete DAQ 920 Para 1 de 2

Dibujó: JCA	Fecha:
Revisó: JMA	Escaló:
Aprobó: JMA	Fecha Rev: 01/08/2016



La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatronica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el presente plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requiere la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.

+S1+T - Termopares

=F1 - Temp Sobrecalentador



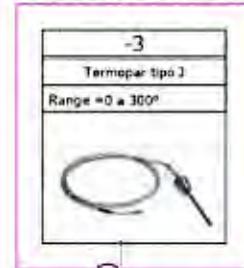
W38
(Fe-Constaint)

=F2 - Temp Vapor de linea



W39
(Fe-Constaint)

=F3 - Temp Entrada Turbina



W41 (Fe-Constaint)

=F4 - Temp Salida Turbina



W40 (Fe-Constaint)

+G1+L2+C - Clemas



W36 (TC6)

+L3+D1 - NI 9213



W33 (TC8)

W34 (TC2)

W37 (TC4)



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios
Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentación Virtual y
supervisión a Distancia Ciclo Rankine

Título: Simulación de Calentamiento DAQ 9213

Descripción: Simulación de Calentamiento DAQ 9213 Parte 2 de 2

Dibujó: BGA

Calificó:

Revisó: HMA

Escaló:

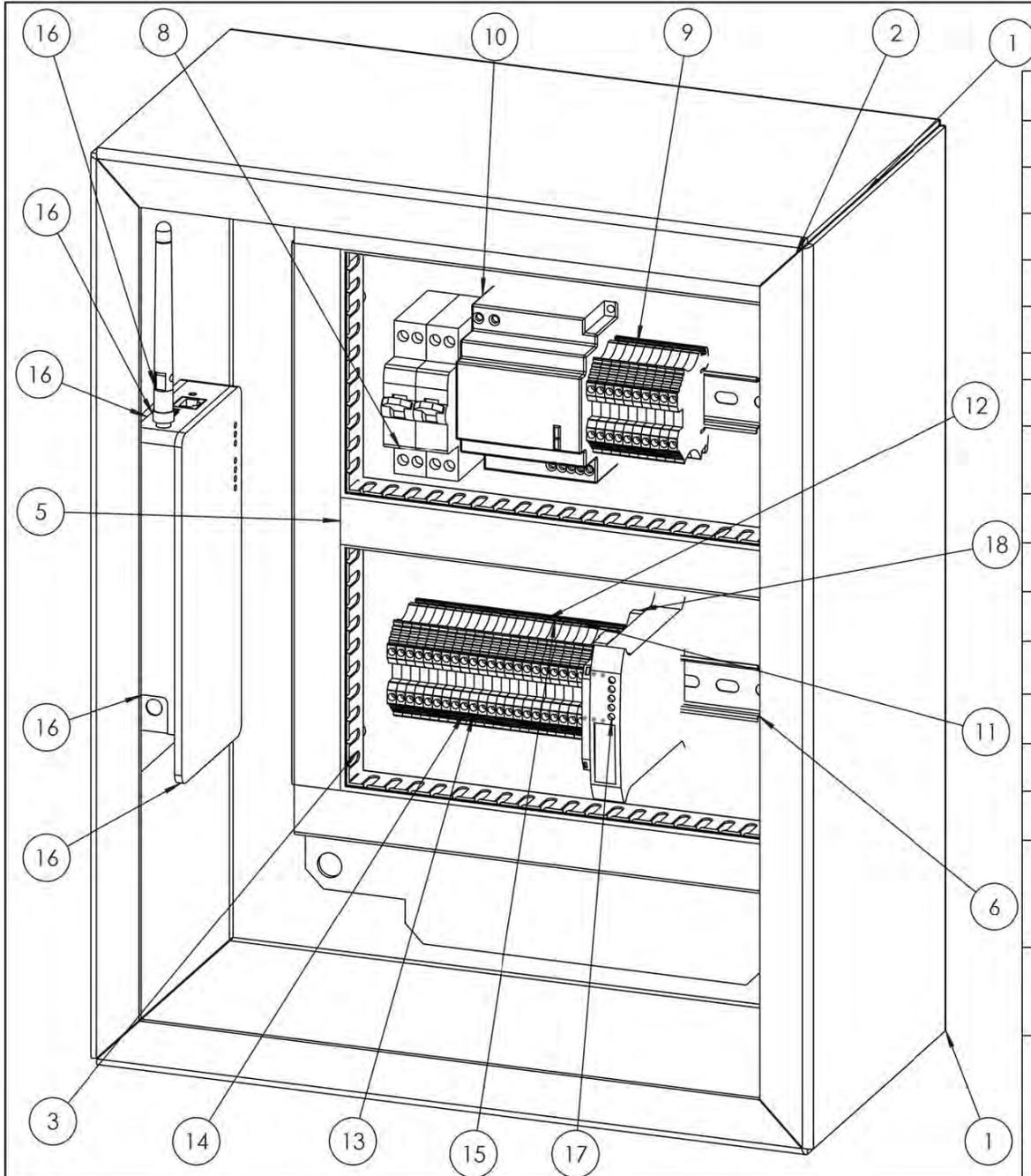
Aprobó: HMA

Fecha Rev:
12/06/2016



ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecánica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el presente plano de los mismos. Para hacer uso del presente se requiere la autorización previa del IM en el Humberto Marcelo Alonso.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EIDON	Armario 500x400x200	1
2	Panduit	Canaleta Panduit 400	2
3	Panduit	Canaleta Panduit 300	1
4	Panduit	Canaleta Panduit 300	1
5	Panduit	Canaleta Panduit 200	1
6	Weidmuller	Riel DIN	2
7	Weidmuller	WDU 2.5 celma de tierra fisica	1
8	EATON	Magneto-therm circuit-breaker - 2P - 127 V~ - 16 A	2
9	Weidmuller	Clema Roja WDU- 2.5mm	8
10	Weidmuller	Fuente de poder 24 V 2A 48 W	1
11	Weidmuller	Clema Blanca WDU 2.5	17
12	Weidmuller	Clema Naranja WDU 2.5	3
13	Weidmuller	Clema Amarilla WDU 2.5	3
14	Weidmuller	Clema Azul WDU 2.5	2
15	Weidmuller	Clema Negra WDU 2.5	1
16	NI cDAQ 9191	Chasis WiFi para comunicacion inalambrica contiene NI9213 y NI 9208	2
17	LAUMAS	Transductor de Señal TLB para Celda de Carga salida 4-20mA	1
18	Phoenix Contact	MCR-C-U-I-4-DC transductor de señal de Encoder, amplificador separador 3 vias, salida 4-20mA	1



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentacion Virtual y Supervisor a Distancia

Pieza: Armario De Control

Descrip: Armario de control que contiene los componentes utilizados para realizar las conexiones pertinentes de los sensores transductores y DAQs Plano No.:2 de 2

Dibujó: GCA

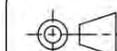
Cotas:

Revisó: HMA

Escala: 1:3

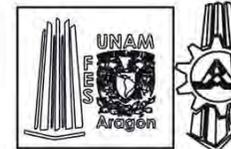
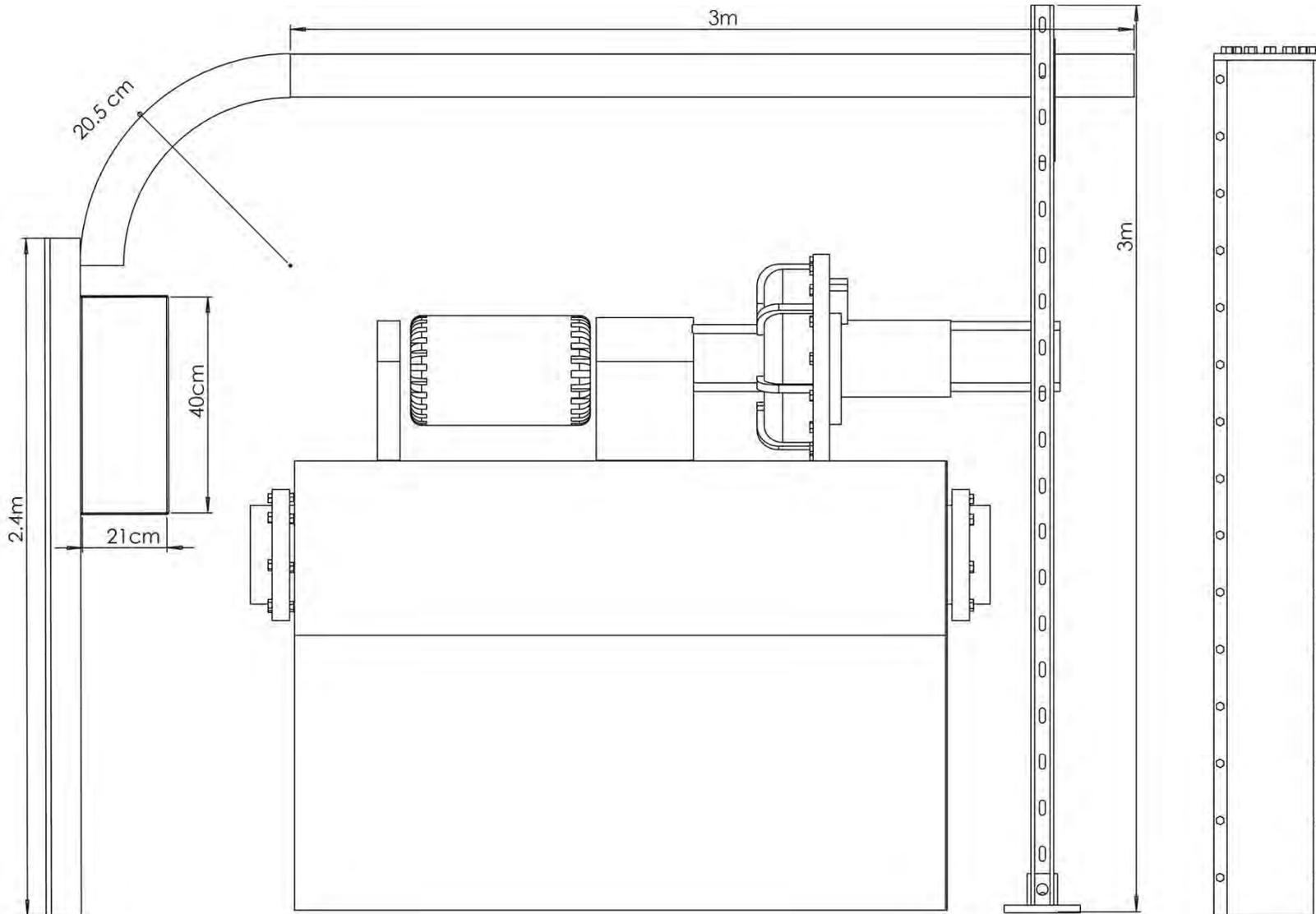
Aprobó: HMA

Fecha Rev:



ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el préstamo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requerirá la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios
Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentación Virtual y
Supervisión a Distancia Cito Rankine

Título: Instalación de Canaletas

Descripción: Charola porta cables
instalada arriba de la turbina
COPPUS, junto con armario de
Control
Plano: 1 de 2

Dibujó: GCA

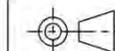
Cotas:

Revisó: HMA

Escala: 1:10

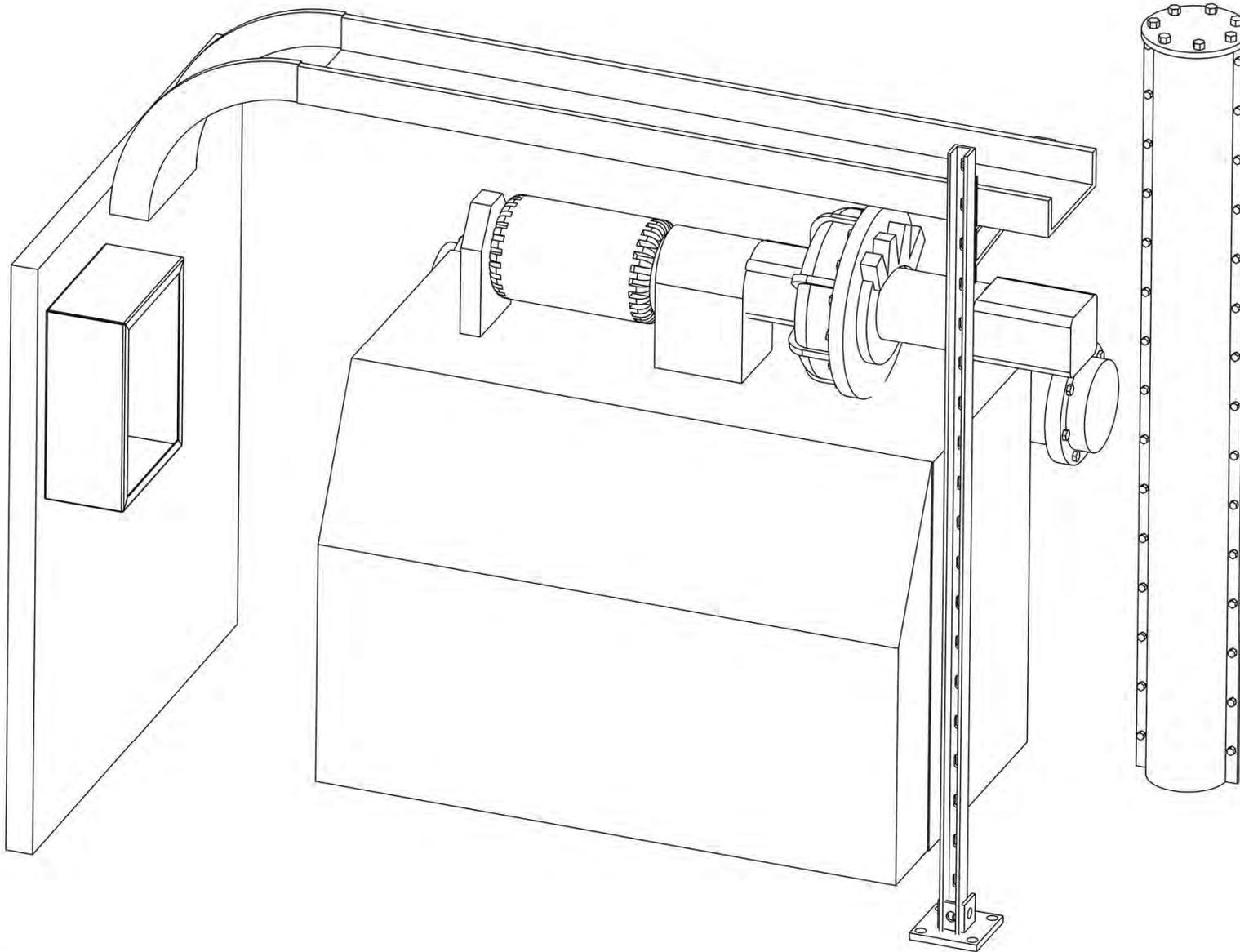
Aprobó: HMA

Fecha Rev:



ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el préstamo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requerirá la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios
Superiores Aragón

Proyecto: Instrumentación Virtual y
Supervisión a Distancia Ciclo Rankine

Título: Instalación de Canaletas y
armario

Descrip. : vista de la
instalación completa
Plano: 2 de 2

Dibujó: GCA

Cotas:

Revisó: HMA

Escala: 1:10

Aprobó: HMA

Fecha Rev:



ANSI B

La información contenida en este documento forma parte del acervo patrimonial del Club de Mecatrónica. Queda prohibido el uso indebido como la distribución con fines de lucro y la divulgación del contenido de este documento, así como también cualquier modificación a la información contenida en este, el préstamo plagio de los mismos. Para hacer uso del presente se requerirá la autorización previa del M. en I. Humberto Mancilla Alonso.