



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y
MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE**

Carlos Francisco Gómez Villagrán

Asesorado por el PhD. Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y
MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA

POR

CARLOS FRANCISCO GÓMEZ VILLAGRÁN

ASESORADO POR PHD. ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Murales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 22 de marzo de 2010.



Carlos Francisco Gómez Villagrán

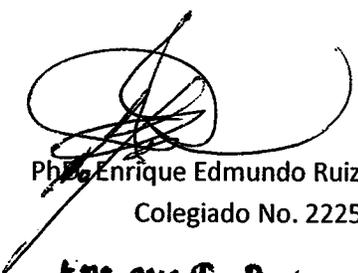
Guatemala, 15 de enero de 2012

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación con título: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE**, desarrollado por el estudiante **Carlos Francisco Gómez Villagrán**, con carné 200418336. Después de revisar su contenido final considero que satisface el objetivo del mismo y lo apruebo como trabajo de graduación.

Agradezco su atención, atentamente:



Ph. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Colegiado No. 2225

ENR QUE E RUIZ C
INGENIERO ELECTRICIST.
COL No 2225



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 09. 2012
Guatemala, 12 de MARZO 2012.

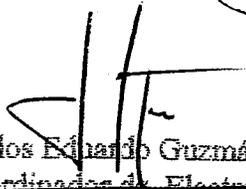
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL
PROCESAMIENTO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN
TURBOGENERADOR DE ESCAPE,** del estudiante Carlos
Francisco Gómez Villagrán, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica



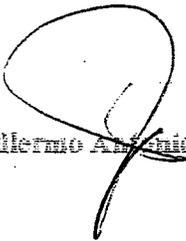
CEGS/sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 36. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Carlos Francisco Gómez Villagrán (titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

GUATEMALA, 16 DE JULIO 2012.





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESAMIENTO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE UN TURBOGENERADOR DE ESCAPE**, presentado por el estudiante universitario Carlos Francisco Gómez Villagrán, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2012



ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre	Por haberme mostrado los caminos a seguir y permitirme elegir el mejor.
Mi madre	Por su apoyo incondicional en todo momento.
Mis hermanas	Por haberme dado un modelo a seguir.
Mis amigos	Por el apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

Víctor Barahona	Por el intercambio de información durante el desarrollo del proyecto.
Nelson Simón	Por su apoyo en el montaje de los equipos eléctricos.
Víctor Martínez	Por su colaboración en el montaje y prueba de los equipos.
Adrian A. McMahon	Por la traducción del artículo en inglés.
William Bolaños	Por su valiosa contribución en la elaboración de este documento.
Luis Porres	Por ser una inagotable fuente de motivación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Cogeneración en Guatemala	1
1.2. Aspecto sociales y económico de la cogeneración	3
1.3. Impacto ambiental de la cogeneración	5
2. INVESTIGACIÓN Y PLANIFICACIÓN	9
2.1. Principios de funcionamiento de una turbina de vapor de contrapresión	9
2.2. Principios de funcionamiento de un generador	12
2.3. Seguridad de un turbogenerador	14
2.3.1. Línea de TRIP	14
2.4. Variables de monitoreo y control del turbogenerador	19
2.4.1. Presiones	19
2.4.2. Temperaturas	23
2.4.3. Desplazamientos y vibraciones	26
2.4.4. Variables eléctricas	28
2.4.5. Variables de velocidad	30
2.4.6. Nivel	31

2.5.	Recursos humanos y materiales	32
2.5.1.	Recursos humanos.....	33
2.5.2.	Recursos materiales	36
2.6.	Método de la ruta crítica del proyecto (CPM).....	37
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	39
3.1.	Arquitectura y hardware de control	40
3.1.1.	Racks remotos.....	45
3.1.2.	Arquitectura de red	46
3.2.	Equipos electrónicos	48
3.2.1.	Clientes HMI	48
3.2.2.	Sistema de protección por vibraciones	51
3.2.3.	Gobernador de la turbina	53
3.2.4.	Protección de sobre velocidad.....	54
3.2.5.	Sistema de regulación de vapor.....	55
3.3.	Instrumentación electrónica.....	56
4.	COSTOS	57
5.	INSTALACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO	59
5.1.	Instalación del controlador.....	59
5.2.	Instalación de los racks remotos	62
5.3.	Montaje de panelView	66
5.4.	Red Ethernet/IP.....	67
5.4.1.	Aspectos fundamentales de la conexión en red TCP/IP.....	68
5.4.2.	Montaje de los switch administrables Stratix 8000.....	70
5.4.3.	Cableado estructurado	74
5.5.	Instalación de la instrumentación	79

5.5.1.	Sensores de temperatura	82
5.5.2.	RTD's y termocouplas	83
5.5.3.	Transmisores de Presión	88
5.5.4.	Switch de presión (presostato)	93
5.6.	Sistema de vibraciones	94
5.6.1.	Sistema de vibraciones Bently Nevada 3500	98
5.6.2.	Sondas de vibración, posición, fase y velocidad	103
5.7.	Instalación de CPC	110
5.7.1.	Montaje de CPC	110
5.7.2.	Calibración	114
6.	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	121
6.1.	Programación de controlador	122
6.1.1.	Configuración de hardware	122
6.1.2.	Definición de TAGS.....	129
6.1.3.	Mapeo de señales.....	132
6.1.4.	Programación de seguridades.....	138
6.1.5.	Programación de alarmas	140
6.2.	Desarrollo de HMI	142
6.2.1.	Diseño de pantallas.....	143
6.2.2.	Conexión de TAGS al controlador	149
7.	PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA	151
7.1.	Simulación de temperaturas	152
7.2.	Simulación de presiones	154
7.2.1.	Simulación de switchs de presión	155
7.3.	Prueba de seguridades	155

CONCLUSIONES 159
RECOMENDACIONES 161
BIBLIOGRAFÍA 163
ANEXOS 164

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Despacho de carga del Sistema Nacional Interconectado 2009	2
2.	Despacho de carga del Sistema Nacional Interconectado 2010.....	2
3.	Comparativo venta bagazo-bunker	6
4.	Generación por tipo de combustible	7
5.	Trabajo generado por la turbina	10
6.	Interior de turbina de 40MW	11
7.	Principio de un generador	13
8.	Línea de <i>TRIP</i> abierta	18
9.	Esquema del funcionamiento de la válvula de <i>TRIP</i>	20
10.	Transductor capacitivo	21
11.	Chip de pieza de goma “piezo-rubber chips”	22
12.	RTD Rosemount® 118MFRTD.....	25
13.	Sensor de posición y vibración.....	27
14.	Magnetic Pick Up	31
15.	Medición de nivel en tanques cerrados	32
16.	Arquitectura de control	41
17.	Arreglo de fuentes redundantes	43
18.	Chasis, fuente de voltaje, controlador1756-L61 y 3 módulos de comunicación	44
19.	<i>Racks</i> remotos	46
20.	Arquitectura de red.....	47
21.	Arquitectura de red con supervisión desde Internet.....	48
22.	PanelView Plus 1000	50

23.	3500 Series	52
24.	505 Woodward	53
25.	ProTech 203 de Woodward	55
26.	Medidas del chasis 1756-A7	60
27.	Alimentación de voltaje redundante y aterrizaje de chasis	63
28.	<i>Racks</i> remotos AR1.1 y AR1.2	64
29.	<i>Rack</i> remoto AR2.1	65
30.	Alimentación de voltaje de <i>racks</i> remotos	65
31.	Conexiones de PanelView Plus 1000	66
32.	Dimensiones de <i>Switch</i> Stratix 8000.....	71
33.	Montaje de <i>Switch</i> Stratix 8000 sobre Riel DIN.....	72
34.	Montaje de módulo SPF	72
35.	Topología de red	73
36.	Cable STP	75
37.	Conexiones eléctricas para conectores RJ45	76
38.	Conectores para fibra óptica SC y ST.....	77
39.	<i>Manifold</i> de 3 válvulas y esquema equivalente	81
40.	Sensores de temperatura RTD PT-100 y sus termopozos	83
41.	Conexión de RTD's a 2, 3 y 4 hilos	84
42.	Esquema de mediciones de temperatura al proceso	86
43.	Módulos IR8, fuente de voltaje y módulo cabecera.....	87
44.	Transmisores de temperatura dentro de armario IP66.....	89
45.	<i>Rack</i> remotos AR1.1 y AR1.2	91
46.	Transmisor de presión Rosemount	91
47.	Esquema de mediciones de presión del proceso	92
48.	Switch de presión y sus partes	94
49.	<i>Rack</i> 14 <i>slots</i> , Bently Nevada 3500	99
50.	Sistema de vibraciones Bently Nevada.....	101
51.	Diagrama de conexión de <i>relays</i>	104

52.	3300 XL Proximito Sensor	106
53.	Dimensiones de sensor y conexión de sonda al sensor	106
54.	Salida de voltaje de 3500 XL <i>Proximito Sensor</i>	107
55.	Conexiones eléctricas de módulo 3500/25 a 3500 XL <i>Proximito</i> <i>Sensor</i>	108
56.	Desplazamiento axial	109
57.	Sonda de medición	110
58.	Montaje de CPC	112
59.	Componentes de la tarjeta electrónica	113
60.	Salida de presión versus entrada de corriente	118
61.	Conexiones a CPC	119
62.	Configuración de direcciones IP a módulos de cabecera 1794-AENT	124
63.	Configuración de hardware en RSLinx	125
64.	Hardware configurado para el proyecto del turbogenerador	126
65.	TAGS de hardware	128
66.	Ejemplo de mapeo de señales análogas	133
67.	Add-On Instruction S_EA1794	134
68.	Vector asociado a un módulo de entradas digitales	135
69.	Ejemplo de mapeo de entradas y salidas digitales	136
70.	Código de AOI S_SA1794	137
71.	Ejemplo de mapeo de Salidas análogas y RTD's	138
72.	Parte del código escalera utilizado. Rutina F2_Armar	139
73.	Llamado de AOI de alarmas	141
74.	AOI para alarmas análogas	141
75.	Pantalla general	144
76.	Pantalla de lubricación	145
77.	Pantalla de sistema de vibraciones	146
78.	Pantalla de línea de <i>TRIP</i>	147

79.	Pantalla de Hardware	148
80.	Arquitectura OPC.....	150
81.	Técnico probando una sonda de temperatura.....	153

TABLAS

I.	Porcentaje de crecimiento	4
II.	Lista de materiales.....	42
III.	Requerimientos de computadora cliente.....	49
IV.	Requerimientos mínimos de software para cliente.....	50
V.	Costos del proyecto	57
VI.	Elenco de señales a AR2.1.....	87
VII.	Elenco de señales AR 21.11, señales de presión	90
VIII.	Identificación de conexión de pines a conector.....	113
IX.	Definición de TAGS	129
X.	Prueba de sensores de temperatura.....	152
XI.	Simulación de presiones.....	154

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Ciclos por segundo
°C	Grados centígrados
°F	Grados fahrenheit
psi	Libras por pulgada cuadrada
MW	Mega watts
mA	Mili amperios
mils	Milésimas de pulgada
mV/mils	Milivoltios por milésima de pulgada
rpm	Revoluciones por minuto
VDC	Voltaje en corriente directa

GLOSARIO

Banda muerta	Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta.
Biomasa	Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
Chumacera	Es una pieza de acero o de hierro fundido formada por dos mitades unidas entre sí con tornillos guías. La chumacera en su superficie cilíndrica interior, posee un revestimiento de metal antifricción (Babbit), para disminuir la fuerza de fricción entre el eje y la chumacera. Sobre las chumaceras descansan y giran los ejes de cualquier máquina.
CPC	Convertidor de corriente a presión, por sus siglas en inglés; es un dispositivo capaz de convertir una corriente eléctrica en presión, el cual varía la presión a su salida, al variar la corriente de entrada.

CPM	Critical Path Method por sus siglas en inglés, es el método de la ruta crítica, teniendo como base el tiempo que demora una actividad; se puede calcular el tiempo para terminar el proyecto.
DHCP	Protocolo de configuración dinámica (Dynamic Host Configuration Protocol, por sus siglas en inglés) es un protocolo de red que permite a los clientes de una red IP obtener sus parámetros de configuración automáticamente.
Dióxido de Carbono	También denominado óxido de carbono (IV), gas carbónico y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO ₂ .
Dirección MAC	La dirección MAC es un identificador de 48 bits que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red. Se conoce también como dirección física, y es única para cada dispositivo.
Entalpía	La entalpía es el nivel energético de un elemento o asociación de varios elementos en unas condiciones dadas de presión y temperatura. Para el presente caso, la asociación de elementos es H ₂ O.

Entropía termodinámica	Una magnitud que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir un trabajo; es el grado de desorden que poseen las moléculas que integran un cuerpo, o también el grado de irreversibilidad alcanzada después de un proceso que implique transformación de energía. El diagrama de Mollier indica la entalpía específica h , existiendo diagramas de Mollier para un buen número de elementos (NH_3 , CH_4 , C_2H_6 , H_2O , etc.).
Error	Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.
Estabilidad	Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.
Exactitud	Cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.
Generador eléctrico	Todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.

Golpe de ariete

El golpe de ariete o pulso de Joukowski, llamado así por el ingeniero ruso Nilolái Zhukowvski, es junto a la cavitación, el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas. Se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico. En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido, son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido.

HMI

Interfaz hombre máquina, por sus siglas en inglés, es el medio por el cual un humano puede comunicarse con una máquina, en equipo o una computadora; el objetivo de un HMI, es que sea fácil de entender y fácil de utilizar. En este proyecto se utilizará un Panel View 1000 de Rockwell, con una pantalla táctil a colores.

Incertidumbre

Es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

Latón

Es una aleación de cobre y zinc que se realiza en crisoles o en un horno de reverbero o de cubilote.

Las proporciones de cobre y zinc se pueden variar para crear un rango de latones con propiedades variables.

LAN

Red local (Local Area Network, por sus siglas en inglés) es la interconexión de varias computadoras y periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de 200 metros, o con repetidores podría llegar a la distancia de un kilómetro.

Magnetic pickup

Dispositivo electrónico utilizado para medir altas velocidades. Cuando un material magnético (usualmente una rueda dentada metálica) pasa a través del campo magnético estático generado por el sensor, se genera un voltaje alterno. La frecuencia del voltaje alterno se puede traducir en la velocidad angular.

Precisión

Es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado.

Protocolo HART

El protocolo HART (High way-Addressable-Remote-Transducer) desarrollado inicialmente

por Rosemount Inc., agrupa la información digital sobre la señal analógica clásica de 4-20mA c.c. La señal digital usa dos frecuencias individuales, 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 y que forman una onda senoidal que se superpone sobre el lazo de corriente de 4-20mA c.c. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente de c.c. a la señal analógica de 4-20mA c.c. El protocolo HART permite soportar hasta 256 variables; los transmisores pueden conectarse entre sí a través de un bus y comunicarse con 15 aparatos.

Puente de Wheatstone

Es el circuito más sensitivo que existe para medir una resistencia. Utiliza para medir el valor de componentes pasivos como resistencias.

Rango

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

Repetitividad

Capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida del instrumento, al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas

condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo.

Rueda dentada

Pieza mecánica similar a un engranaje, se utiliza para poder realizar mediciones de velocidad angular en máquinas.

Ruido

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Spam

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

Sonda

Es un objeto de manipulación remota cuya misión es llegar a un objetivo prefijado y realizar algún tipo de acción o mandar información.

Temperatura de servicio

Campo de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de límites de error especificados.

Turbina de vapor

Una turbina de vapor es una turbo-máquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo y el rotor, órgano principal de la

turbina que cuenta con palas o álabes, los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético.

RESUMEN

. El presente trabajo de graduación intenta mostrarle al lector la importancia de la cogeneración en Guatemala y al mismo tiempo la tecnología implementada desde el punto de vista de automatización y control, para lograr generar energía eléctrica y calorífica. Para lograr esto, se describen los diversos instrumentos y equipos electrónicos necesarios para poder poner en marcha un turbogenerador de escape.

La cogeneración, al generar simultáneamente electricidad y calor, es más eficiente que procesos de generación eléctrica y calorífica independientes. Resulta un 30% más eficiente que la generación eléctrica y calorífica convencional por su mayor rendimiento en la generación de energía y las ventajas asociadas a la generación distribuida.

En la producción con cogeneración, la planta productora utiliza la biomasa, hablando estrictamente de material energético, que es un subproducto del proceso en sí, para generar energía calorífica y eléctrica de la cual, una parte es utilizada para cumplir con la demanda energética, tanto calorífica como eléctrica, que la planta necesita para operar. Es decir, la planta produce y consume su propia energía. Ya que el balance total de energía es positivo, es necesario extraer dicha energía fuera de la planta; esto se logra convirtiéndola en energía eléctrica que se suma a una red eléctrica distribuida y es vendida al mercado nacional, que lo administra el Administrador del Mercado Mayorista, AMM.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema que controle y monitoree las variables físicas de funcionamiento que intervienen en un turbogenerador de escape.

Específicos

1. Dar a conocer los principios de operación de un turbogenerador de escape, desde el punto de vista de la automatización industrial.
2. Dar a conocer el comportamiento físico de las variables a controlar, para poder encontrar una solución de control automática.
3. Proponer el uso de tecnología de punta para la solución de problemas de ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la tecnología, los avances científicos y la globalización; han permitido que países en vías de desarrollo, tengan acceso a todos esos recursos de invaluable valor, que, otros países del primer mundo han desarrollado con muchos años de investigación. En este punto es en donde empresas guatemaltecas visionarias, hacen uso de ese desarrollo e investigación y lo aprovechan al máximo para mejorar la producción y calidad de productos guatemaltecos. Sin embargo, el acceso a esa tecnología es costosa, tanto de los productos físicos, como la inversión en mano de obra altamente calificada para poder implementarlos.

La educación en Guatemala atraviesa una crisis que hace vulnerable el crecimiento económico por la falta de capacidad tecnológica. Consultando estadísticas en el Departamento de Registro y Estadística de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que es la que cubre el mayor porcentaje de la demanda de educación superior en Guatemala; las ciencias sociales perciben el mayor porcentaje de población estudiantil y las ciencias técnicas, como las ingenierías, perciben un porcentaje menor y con tendencia a aumentar.

El problema aquí, es que muchas veces, la falta de difusión de la información por los centros educativos a nivel medio, hace que los futuros estudiantes de carreras universitarias, se inclinen por las ciencias sociales y no saben lo interesante, impresionante y emocionante que es estudiar una carrera técnica que ayude al estudiante a ver el exterior y conocer todo ese universo tecnológico que permitiría abrirle las puertas a Guatemala a un futuro mucho mejor.

El documento que se presenta a continuación, es sin duda una de las infinitas aplicaciones que se pueden desarrollar en el campo de las ingenierías. La producción de energía eléctrica por medio de la cogeneración, utiliza esa alta tecnología y es posible implementarla con mano de obra calificada, que es producto de la educación superior en Guatemala.

El presente trabajo de graduación, trata sobre los pasos a seguir en un proyecto de ingeniería de control y automatización, aplicado a la cogeneración de energía.

En un principio, se hará un análisis de la situación actual de la cogeneración en Guatemala, y los impactos sociales y ambientales en que se ve implicada. Para lograr alcanzar los objetivos propuestos, es necesario tener una comprensión básica del funcionamiento de un turbogenerador de contrapresión o de escape, por lo tanto, se tratará de darle al lector una idea básica de su funcionamiento y las variables físicas que afectan al sistema en general.

Una vez sentadas las bases de su funcionamiento, se abordará en el tema de diseño del sistema de control, que es una de las partes fundamentales del presente trabajo. Al tener un diseño revisado, es posible hacer un cálculo de los costos aproximados del proyecto.

Con los costos claros, se procede a la compra y montaje de todos los equipos; por lo tanto en el capítulo 5 se encontrará el detalle de la instalación de los diversos componentes eléctricos y electrónicos.

El desarrollo de la aplicación va de la mano con el montaje de los equipos eléctricos y electrónicos. En el capítulo 6 se detallan parcialmente, los

pasos para el desarrollo de la aplicación. El trabajo se concluye con la puesta en marcha del sistema completo.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Cogeneración en Guatemala

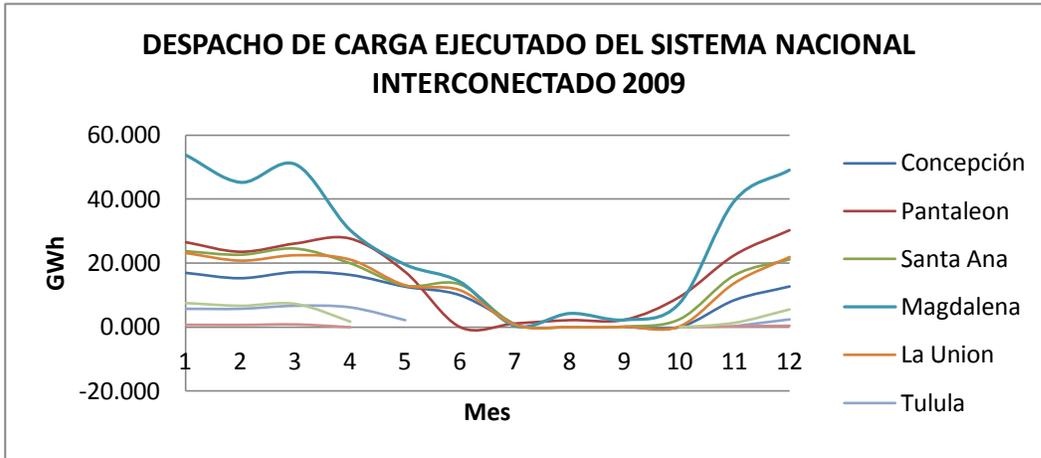
Cogeneración se puede definir como el procedimiento mediante el cual se obtiene energía eléctrica y energía calorífica o térmica, la cual puede ser utilizada para otros procesos.

Una de las ventajas de la cogeneración es su mayor eficiencia energética, ya que como una central eléctrica convencional, la energía calorífica sobrante de un solo proceso es desperdiciada a la atmósfera o por medio de condensación a una masa de agua, de lo contrario la cogeneración aprovecha esta energía calorífica sobrante para utilizarse en diferentes procesos que requieran un intercambio de calor.

El presente trabajo de graduación se centra principalmente, en la automatización de la máquina que convierte la materia prima, en este caso vapor, en dos subproductos: energía eléctrica y energía calorífica; esta máquina es llamada turbogenerador de escape; se llama de escape porque produce un vapor de escape, que es de más baja presión y temperatura; no obstante, es importante conocer el proceso de la cogeneración en Guatemala.

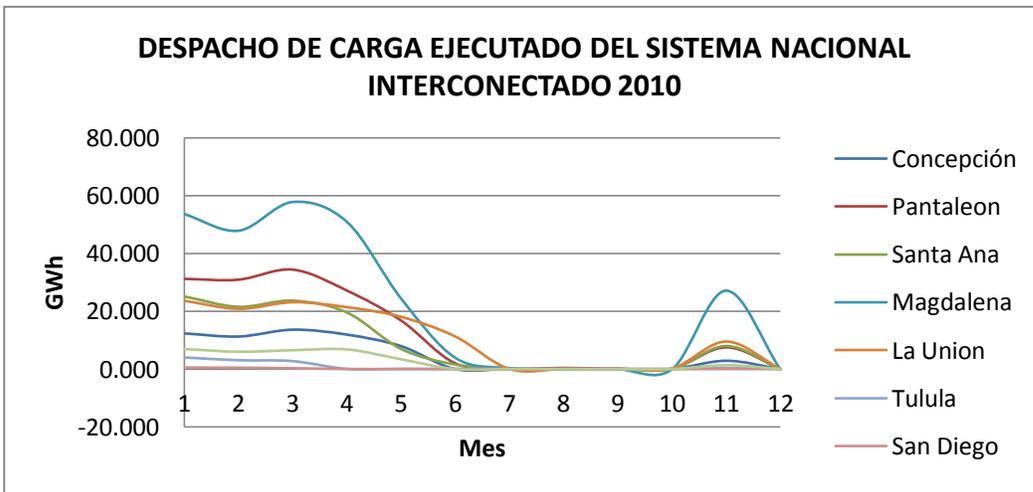
Actualmente en Guatemala la cogeneración abarca el 13.4% (cifra del año 2010) del total de la generación, lo cual revela que la cogeneración en Guatemala aporta una cantidad significativa al sistema nacional.

Figura 1. **Despacho de carga del Sistema Nacional Interconectado 2009**



Fuente: AMM, www.amm.org.gt, www.amm.org.gt. Consulta: diciembre de 2010.

Figura 2. **Despacho de carga del Sistema Nacional Interconectado 2010 (no incluye diciembre de 2010)**



Fuente: AMM, www.amm.org.gt. Consulta: diciembre de 2010

En las figuras 1 y 2 se muestra la producción de energía por mes de algunas de las principales cogeneradoras que operan en Guatemala del año 2009 y 2010, respectivamente.

1.2. Aspecto sociales y económico de la cogeneración

Uno de los aspectos de gran importancia consiste en medir de algún modo el impacto social del proceso de cogeneración en la industria azucarera. Se pudo constatar que el personal que labora en la fase técnica de la cogeneración es mínimo, considerando que se trata de mano de obra calificada y especializada en la supervisión y ejecución de las tareas vinculadas a la operación de las calderas, turbogeneradores y la planta de transmisión de electricidad. La demanda de personal aumenta durante el periodo de mantenimiento, ya que en este periodo es necesario realizar trabajos de mecánica, electricidad y automatización.

No obstante, el auge que en el país ha tomado la cogeneración y la propia fabricación de azúcar, tienen un impacto directo en la generación de empleo sobre todo de mano de obra no calificada.

El proceso de cogeneración eléctrica no se puede ver aislado del proceso agroindustrial de la fabricación del azúcar, como tampoco de la actividad agrícola de la producción de la caña de azúcar, en tanto que los tres forman parte de un mismo sistema productivo, con la única salvedad de que parte de la generación de electricidad de los ingenios es para consumo propio y otra para servicio de terceros, es decir, para vender al sistema nacional interconectado.

Al analizar cuál es la importancia social de la cogeneración, necesariamente se tiene que vincular con el auge que la producción de caña ha tomado en el país en los últimos años.

La producción de azúcar en Guatemala ha tenido una tendencia de crecimiento; en la tabla I se muestra un comparativo del crecimiento de azúcar desde el año 1982 hasta el 2009.

Tabla I. **Porcentaje de crecimiento**

Ingenio	Producción total de azúcar Tm		% Crecimiento
	1982-1983	2008-2009	
Concepción	59,639	138,601	132
Pantaleón	101,066	421,166	317
Palo Gordo	46,148	93,354	102
Los Tarros	10,086	288,451	183
Madre Tierra	37,123	163,476	340
Tululá	11,384	86,097	656
San Diego	17,434	50,126	188
Santa Teresa	4,437	2,916	-36
La Sonrisa	1,652	1,425	-14
La Unión	37,040	264,903	615
Santa Ana	72,864	264,342	263
Guadalupe	13,237	693,242	424
Magdalena	181,873	454,617	2,400
El Pilar	38,995	213,164	447
Trinidad	46864	62,871	1,242

Fuente: datos proporcionados por CENGICAÑA. Consulta: septiembre de 2011.

En este sentido, la industria del azúcar se ha convertido en uno de los más importantes generadores de empleo que dan sustento en el campo a miles de familias en las actividades de limpia, riego, aplicación de fertilizantes,

controles fitosanitarios, corte de caña, *desbasurado*, acarreo, etc. contabilizándose por arriba de los 140 millones de jornales anuales, de los cuales casi tres cuartas partes son absorbidas por trabajo de mano de obra semi calificada y no calificada (limpias de campo y corte de caña).

1.3. Impacto ambiental de la cogeneración

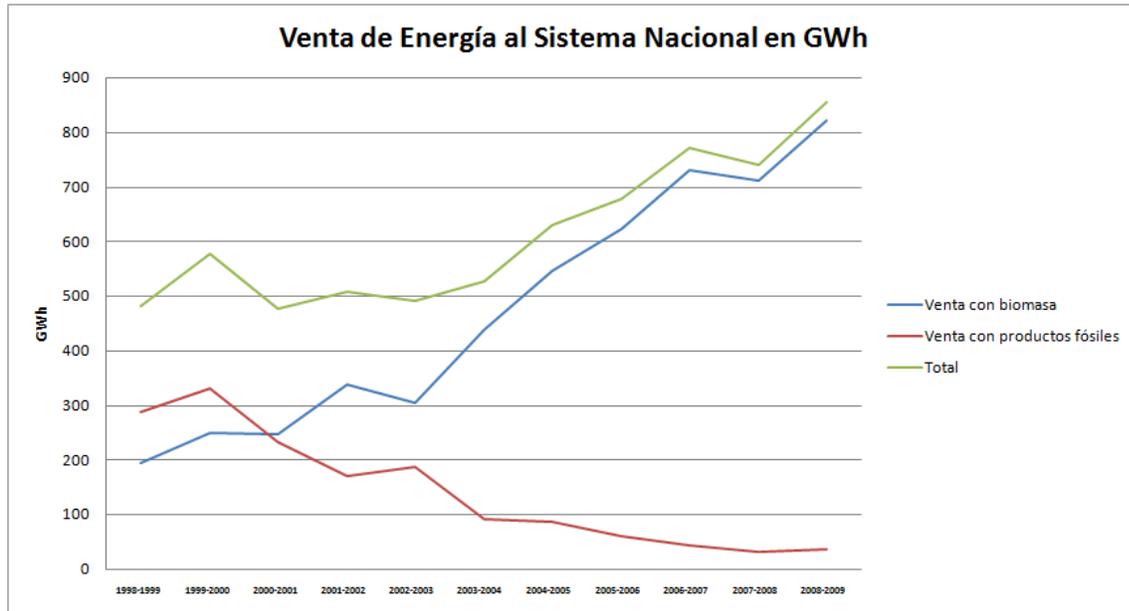
La producción de energía por cogeneración, reduce considerablemente los desechos tóxicos, ya que su fuente de energía en un alto porcentaje no es a base de combustibles fósiles; para la cogeneración en Guatemala se utiliza biomasa en un gran porcentaje, en el caso de ingenios azucareros, el combustible es el bagazo; además aprovecha al máximo la energía que se produce a partir de la biomasa ya que para transformar esta energía utilizan las tecnologías más avanzadas.

La tendencia a utilizar combustibles fósiles, por parte de la cogeneración en Guatemala está reduciéndose; en la siguiente gráfica se muestra esta reducción a través de los años.

En el gráfico siguiente se pueden ver datos interesantes del tipo de materia prima utilizada para la producción de energía; se puede ver que los recursos hídricos, ocupan un rubro importante del total de la producción de energía.

La gran ventaja de la energía hidráulica es la eliminación de los costos de los combustibles. El costo de operar una planta hidráulica es casi inmune a la volatilidad de los combustibles fósiles como la gasolina, el carbón o el gas natural. Además, no hay necesidad de importar combustibles de otros países.

Figura 3. **Comparativo venta bagazo-bunker**

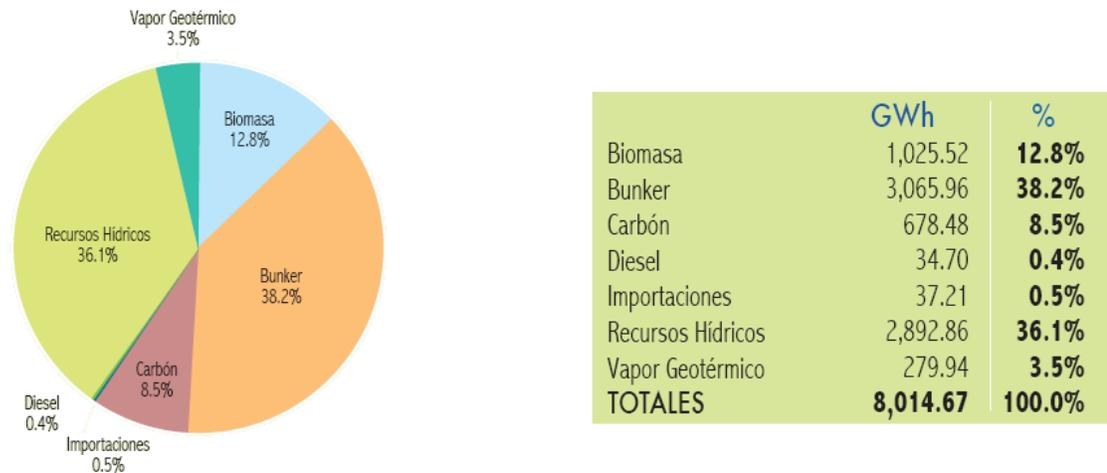


Fuente: CENGICAÑA. Consulta: septiembre de 2011.

Las plantas de generación de energía eléctrica hidráulicas también tienden a tener vidas económicas más largas que las plantas eléctricas que utilizan combustibles. Sin embargo, hay plantas hidráulicas que siguen operando después de 50 a 100 años. Los costos de operación son bajos porque las plantas están automatizadas y tienen pocas personas durante operación normal.

Como las plantas hidráulicas no queman combustibles, no producen directamente dióxido de carbono. Un poco de dióxido de carbono es producido durante el período de construcción de las plantas, pero es poco, especialmente en comparación con las emisiones de una planta equivalente que quema combustibles.

Figura 4. **Generación por tipo de combustible**



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista, estadísticas en línea. www.amm.org.gt. Consulta: febrero de 2011.

La producción de energía con biomasa ocupa el tercer lugar con un 12.8%, que también es importante en la ayuda del ecosistema; sin embargo se debe analizar si este 12.8% es realmente energía renovable.

Para determinar si un combustible es una fuente de energía renovable, se debe poner a juicio las siguientes características:

- El uso de biomasa puede considerarse neutro en términos de emisiones netas si solo se emplea en cantidades menores o iguales a la producción neta de biomasa del ecosistema que se explota.
- Las emisiones producidas por el manejo de la biomasa se debe considerar como emisiones netas, es decir las emisiones producidas por la maquinaria que requiera algún tipo de combustible fósil para operar.

- En el balance de emisiones y energía útil no debe olvidarse la contabilidad de los *inputs* indirectos de energía, tal es el caso de energía incorporada en el agua empleada para la operación. En el caso de cogeneración para poder producir una cantidad de energía eléctrica o calorífica, es requerida cierta cantidad de energía incorporada en el agua o la entalpía de la masa de agua.

2. INVESTIGACIÓN Y PLANIFICACIÓN

Previo a ejecutar cualquier proyecto de automatización, es necesario conocer el principio de funcionamiento de lo que se pretende automatizar. Es de vital importancia realizar una investigación, en donde se aclaren todos los conceptos físicos y de operación de la equipo o máquina que se controlará. Este capítulo contiene información sobre el funcionamiento del turbogenerador de contrapresión que se automatizará.

2.1. Principios de funcionamiento de una turbina de vapor de contrapresión

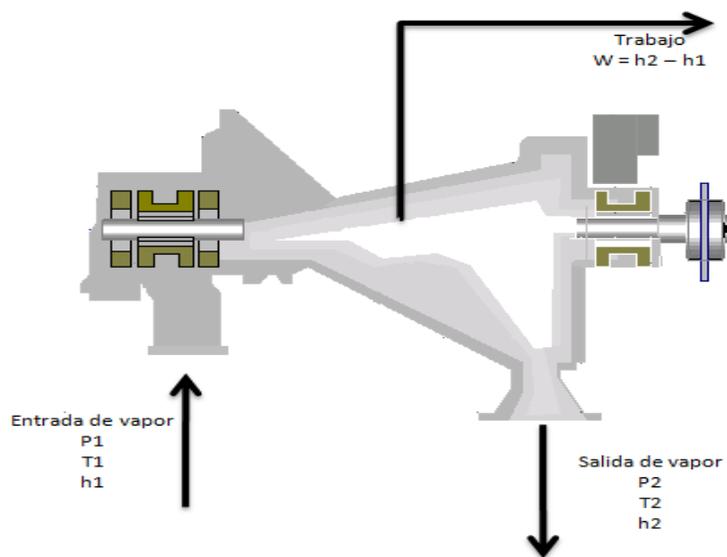
La turbina de vapor es una máquina rotativa y cíclica que transforma la entalpía del vapor de agua en energía mecánica que provoca un par en la turbina.

La entalpía se define como el nivel energético de un elemento o asociación de varios elementos en unas condiciones dadas de presión y temperatura. Para el presente caso, esta asociación es H_2O .

El trabajo disponible en la turbina es igual a la diferencia de entalpía entre el vapor de entrada a la turbina y el de salida (ver la figura 5). El hecho de la utilización del vapor como fluido de trabajo se debe a la elevada energía disponible por unidad de kg de fluido de trabajo. Este ratio, en el caso del agua, es tres veces mayor que en el caso del aire dé forma para dos turbinas, una de vapor y otra de gas; con la misma potencia de salida se tiene que el gasto másico de la turbina de vapor es tres veces menor que el de la turbina de gas.

Dada la gran diferencia que se debe obtener entre la presión de entrada y de salida de la turbina, es necesario producir esta expansión en distintas etapas, escalonamientos, con el fin de obtener un mejor rendimiento de la operación.

Figura 5. Trabajo generado por la turbina



Fuente: elaboración propia, con base en el programa paint

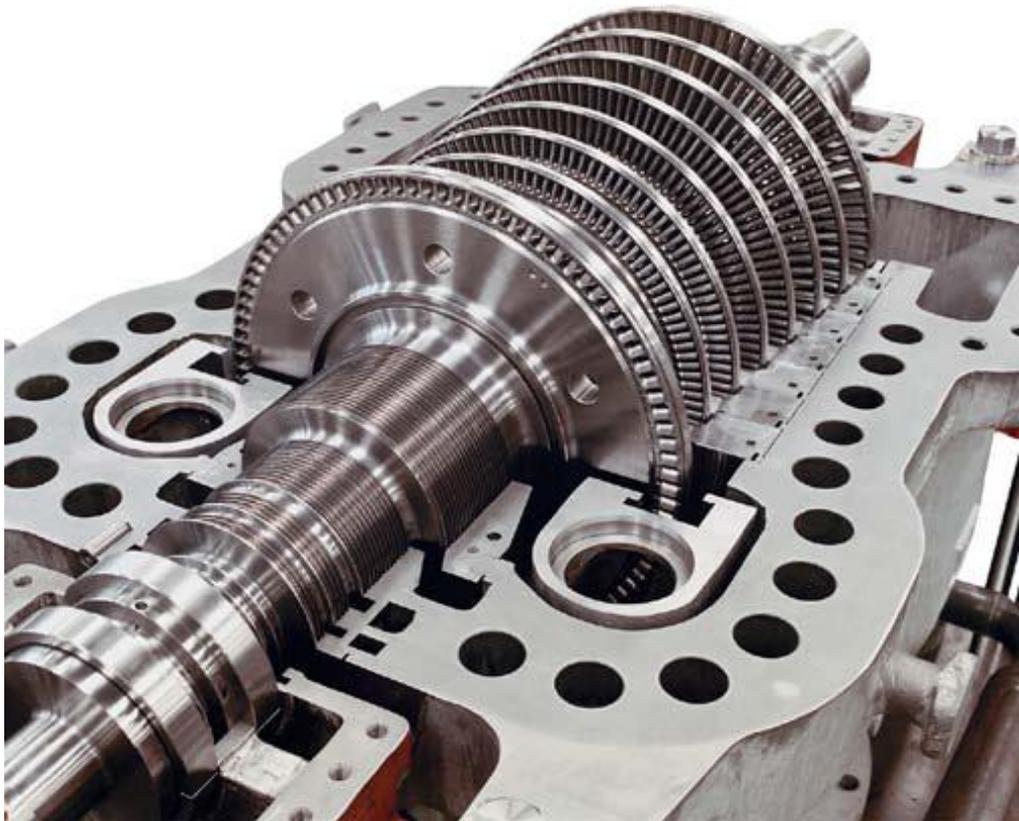
Si solo se realizase la expansión en una etapa, las grandes deflexiones a que tendría que estar sometido el fluido provocarían pérdidas inaceptables.

Las pérdidas en una turbina de n escalones no son iguales a la suma de las pérdidas de n turbinas sino que son menores, ya que los escalones de la turbina son capaces de recuperar parte de la energía degradada en el anterior escalón para generar energía mecánica.

Entre las partes de una turbina se encuentra el rotor de la turbina, el rotor es el elemento móvil del sistema de conversión de energía calorífica a mecánica. La energía desprendida por el vapor en la turbina se convierte en energía mecánica en este elemento.

Debido a que la turbina está dividida en un cierto número de escalonamientos, el rotor está compuesto por una serie de coronas de alabes, uno por cada escalonamiento de la turbina. Los alabes se encuentran unidos solidariamente al eje de la turbina, moviéndose con él.

Figura 6. **Interior de turbina de 40MW**



Fuente: TGM, www.grupotgm.com.br. Consulta: marzo de 2012. Consulta: febrero de 2011

2.2. Principios de funcionamiento de un generador

Los generadores cambian la energía mecánica en energía eléctrica, en tanto que los motores cambian la energía eléctrica en energía mecánica; los generadores y motores eléctricos son muy parecidos; de hecho, están contruidos de la misma forma general y, ambos dependen de los mismos principios electromagnéticos para su operación.

Al primer principio se le llama acción del generador y se le conoce también como de inducción. El voltaje se puede inducir en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético; esto sucede cuando el flujo magnético se corta por el conductor. En algunos casos, se mueve el alambre; en otros, se mueve el campo, y aún en otros, ambos se mueven pero a distintas velocidades.

Este principio toma energía mecánica para producir el movimiento; este produce la electricidad por ser generada.

El segundo principio, es el llamado la acción del motor; este simplemente se refiere a las fuerzas mecánicas entre imanes. Cuando dos imanes se aproximan uno a otro, uno es atraído o repelido respecto del otro; algunos motores usan un imán permanente y un electroimán, otros usan dos electroimanes; de cualquier manera, la energía eléctrica crea al menos uno de los campos magnéticos; entonces, las fuerzas entre los dos campos magnéticos producen el movimiento.

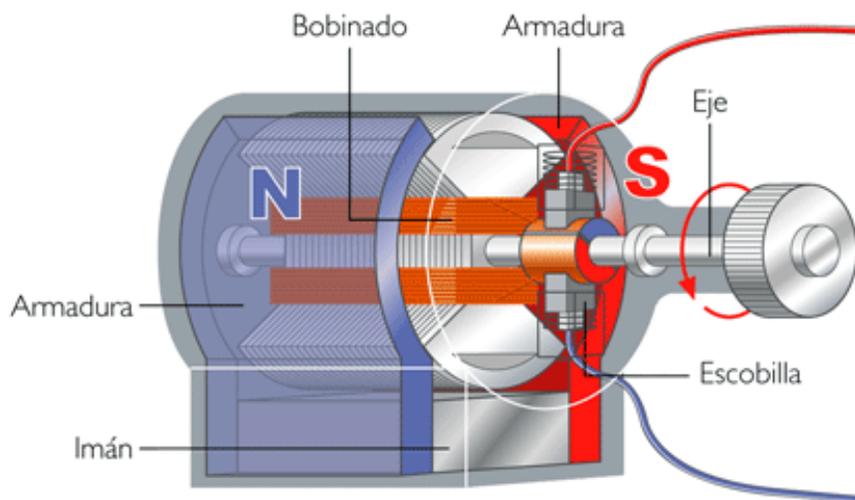
Para estudiar la forma en cómo convierten los generadores la energía mecánica en energía eléctrica, se puede usar la figura 7, que representa un generador elemental, en donde el campo magnético principal viene de un par

de imanes permanentes. Puede observarse que la cara del polo norte se encuentra enfrente de la cara del polo sur, la forma curvada de los polos produce el campo más intenso.

La bobina de la armadura está devanada sobre el rotor, cada extremo de esta bobina está fijo a su propia banda metálica; estas bandas se llaman anillos rozantes y es donde aparece el voltaje generado.

Para coleccionar el voltaje generado, se debe tener una trayectoria eléctrica de los anillos rozantes a las terminales del generador, esto se hace con pequeñas piezas metálicas o de carbón llamadas escobillas, que se encuentran fuertemente fijadas a los anillos rozantes por medio de resortes, en la medida que la bobina gira, los conductores cortan el campo magnético; esto produce el voltaje inducido en la bobina.

Figura 7. Principio de un generador



Fuente: www.kalipedia.com. Consulta: octubre de 2011

2.3. Seguridades de un turbogenerador

Para el presente trabajo de graduación, se analizará una turbina que gira con una velocidad angular de 6000 rpm, por lo tanto la energía cinética de la turbina en rotación, que es la combinación de la energía traslacional y rotacional, y tomando en cuenta que la turbina está diseñada para tener el máximo momento de inercia, da como resultado una máquina con una gran cantidad de energía que debe ser controlada, para evitar que la energía se libere en donde no es deseada.

En una máquina existen diferentes protecciones, entre esas protecciones se encuentran: protección por sobrevelocidad, temperatura, alta o baja presión, alta vibración, entre otras. Una medición de las variables fuera de los rangos permitidos provocará un disparo de la turbina.

Para lograr esto se deben extraer diferentes variables del turbogenerador, la instrumentación electrónica utiliza diversos dispositivos para lograr este fin.

Uno de los instrumentos electrónicos utilizados, son los transmisores electrónicos, los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos.

2.3.1. Línea de *TRIP*

La línea de *TRIP* se puede comparar con un circuito eléctrico, con diferentes interruptores conectados en serie; en caso uno de estos interruptores llegara a fallar, la línea de *TRIP* se abre y automáticamente una válvula de

seguridad, llamada “*TRIP Valve*”, se cierra inmediatamente, evitando el paso de vapor hacia la turbina. Dentro de la línea de *TRIP* se encuentran las siguientes protecciones, las cuales se detallará su funcionamiento:

- Hongo de emergencia: es un interruptor mecánico/manual que al presionarse abre el circuito o la línea de *Trip*. Este tipo de seguridad es importante, ya que en caso suceda algún problema con la turbina que esté fuera del alcance del control del sistema, se puede presionar manualmente y causará que la turbina pare.
- *TRIP* por sobre-velocidad de PROTECH: este utiliza un controlador de velocidad, el cual está monitoreando la velocidad en tiempo real de la turbina y en el momento que ocurra una sobrevelocidad, el controlador abrirá la línea de *TRIP*. Esta seguridad es necesaria ya que si la turbina excede la velocidad a la que fue diseñada podrían dañarse partes mecánicas de la misma, lo que podría ocasionar daños materiales y daños físicos por desprendimiento de partes mecánicas que son expulsadas tangencialmente de la turbina.
- *TRIP* por vibraciones: es similar que el *Trip* por velocidad de PROTECH; utiliza un controlador independiente, el cual monitorea las vibraciones en milésimas de pulgada; en caso que una de las chumaceras vibre fuera de las especificaciones del fabricante, la línea de *TRIP* se abrirá y la turbina se detendrá.
- *TRIP* remoto: este monitorea diferentes variables físicas y si alguna de estas variables está fuera de las especificaciones de operación del fabricante, la línea de *TRIP* se debe abrir y detener la turbina. Entre esas variables se encuentran:

- Baja presión de aceite de lubricación: esta variable es importante, ya que cualquier máquina en rotación sobre un eje, requiere lubricación para evitar el sobrecalentamiento de las partes mecánicas, desgaste y vibración.
- Alta temperatura en chumaceras: puede ser provocada por rozamientos entre piezas mecánicas y esto podría dañar irreparablemente la chumacera, por tal motivo se debe parar la turbina inmediatamente.
- Temperatura baja de vapor: al valor esperado de disparo por baja temperatura, también se le llama disparo por golpe de agua, ya que el vapor puede llegar a convertirse en agua, si llega a su punto de saturación (es el punto en donde el vapor se convierte en agua) y debido a las características físicas del agua, la cual no es compresible, como el vapor, podría dañar una de las álabes de la turbina, este golpe es similar al golpe provocado por partículas similares a las rocas, debido a la alta velocidad que lleva el agua. Por el motivo descrito anteriormente, se debe parar la turbina antes que las partículas de agua lleguen, para lograr esto se utilizan sensores de temperatura a la salida de la fuente de vapor, la cual se encuentra a cierta distancia de la turbina y se espera que al detectar una baja temperatura la turbina se pueda parar inmediatamente.
- Alta presión de vapor de escape: ya que el exceso de energía que la turbina no utiliza, es liberado por la línea de escape, la cual es utilizada por otros procesos, se requiere evitar que la energía que sale de la turbina no exceda lo requerido por otros procesos y dañe equipos, ya sea por alta presión, alta temperatura o baja temperatura.

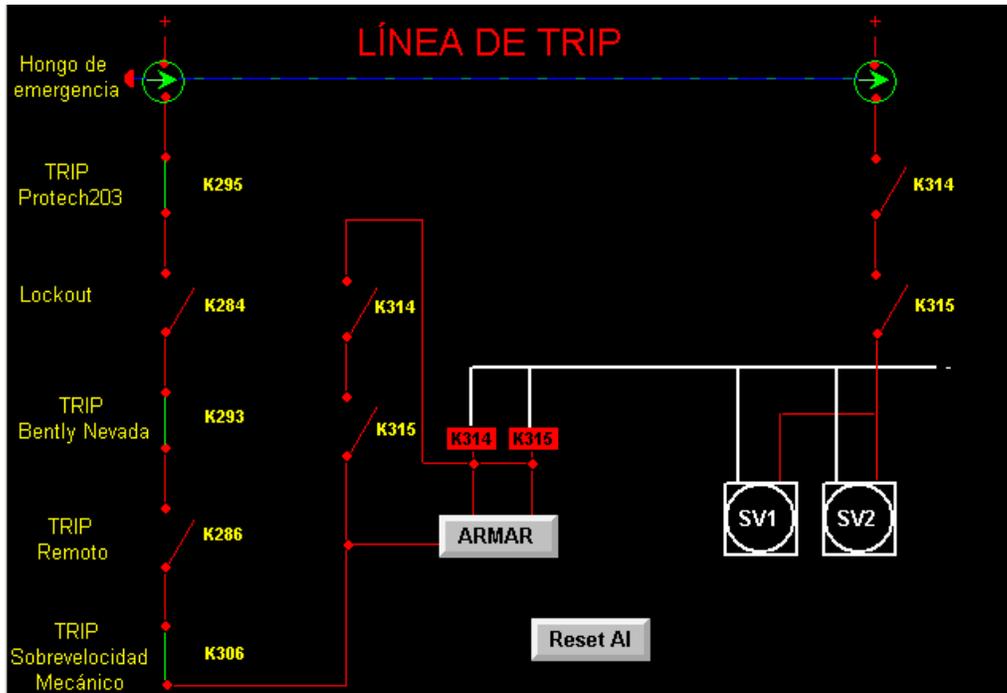
Para evitar una alta presión a la salida de la turbina se utiliza un transmisor de presión, el cual está monitoreando la presión constantemente y en caso de detectar una alta presión la turbina se debe parar.

- *TRIP* Eléctrico: la turbina utiliza un generador que es el encargado de transformar la energía rotacional en energía eléctrica, para controlar los parámetros eléctricos se utilizan diferentes equipos electrónicos, que están fuera del alcance de este trabajo, por lo tanto solo interesará una señal proveniente de dichos dispositivos, que indique que ha ocurrido una falla. Al detectar esta falla la turbina debe detenerse.
- *TRIP* de sobre velocidad Mecánico: el *TRIP* de sobrevelocidad mecánico, utiliza el principio de la mecánica clásica de la fuerza centrífuga, la cual es una fuerza ficticia que aparece cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación. Así aparentemente la fuerza centrípeta tiende a alejar los objetos del eje de rotación. En general, la fuerza centrífuga asociada a una partícula de masa m que en un sistema de referencia en rotación con una velocidad angular ω y a una distancia r del eje de rotación viene dada por:

$$F_{cf} = -m\omega \times (\omega \times r) \quad (1)$$

Utilizando este principio, cuando la turbina alcanza la velocidad angular suficiente para accionar el dispositivo mecánico, la línea de *TRIP* se abre y la turbina se detiene.

Figura 8. Línea de *TRIP* abierta



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Factory Talk Machine Edition.

En la figura 8 se puede ver que la línea de *TRIP* está abierta, por consiguiente las electroválvulas SV1 y SV2, se encuentran desenergizadas.

La función de las electroválvulas SV1 y SV2 es permitir el fluido hidráulico hacia la válvula de *TRIP*; esta es una válvula normalmente cerrada, que tiene un sistema mecánico de resortes, para mantenerla cerrada. Para poder abrir esta válvula, es necesario aplicar una presión hidráulica, sobre un pistón. Al cortarse la presión hidráulica el retraso en el cierre es de 0.15 ± 0.05 s; esto impide que continúe entrando vapor a la admisión de la turbina y por esta razón se detiene la turbina, después de agotarse la energía rotacional.

En la figura 9 anterior se puede ver la válvula de *TRIP*; esta válvula está acoplada directamente a la admisión de vapor, y al cerrarse impide el flujo de vapor a través de la turbina y esto hace que la turbina se detenga.

2.4. Variables de monitoreo y control del turbogenerador

Para poder tener control sobre el turbogenerador, es necesario saber el estado de las variables físicas que afectan al turbogenerador; entre las variables se podría mencionar: temperaturas, presiones, velocidad, vibraciones, etc.

Para poder lograr esto es necesario convertir o transformar un determinado tipo de energía de entrada, a otra diferente; esto se logra utilizando transductores o sensores, que sean capaces de detectar cambios de energía y poder transformar dichos cambios a una señal eléctrica, la cual será monitoreada o medida por un computador o controlador.

A continuación se listan las variables que se monitorean en un turbogenerador y una breve explicación de la física detrás de cada medición.

2.4.1. Presiones

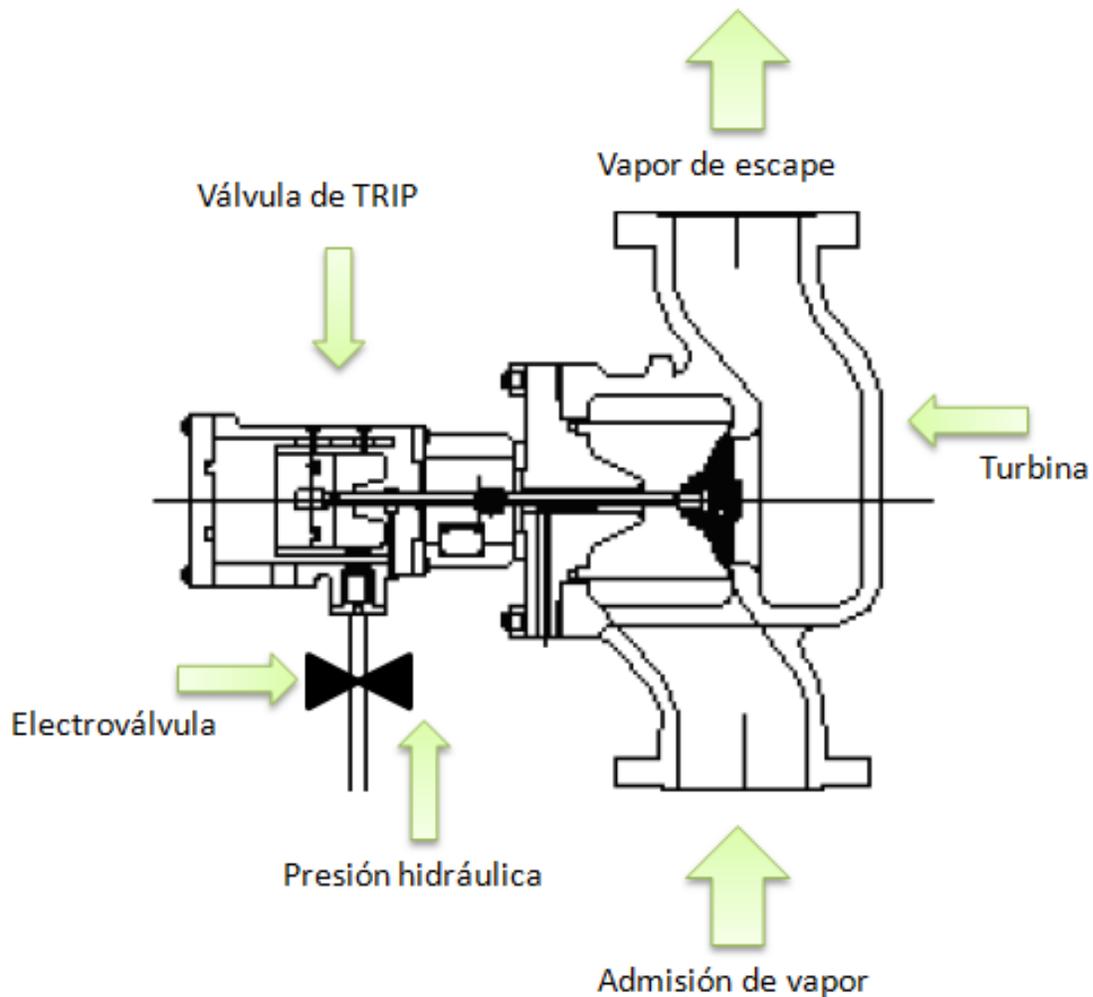
Comúnmente en la industria, se utilizan los transductores capacitivos, piezoeléctricos y de galgas extensométricas.

Los transductores capacitivos se basan en la variación de la capacidad que se produce en un condensador, al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores uno

de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse con circuitos oscilantes o bien en circuitos puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

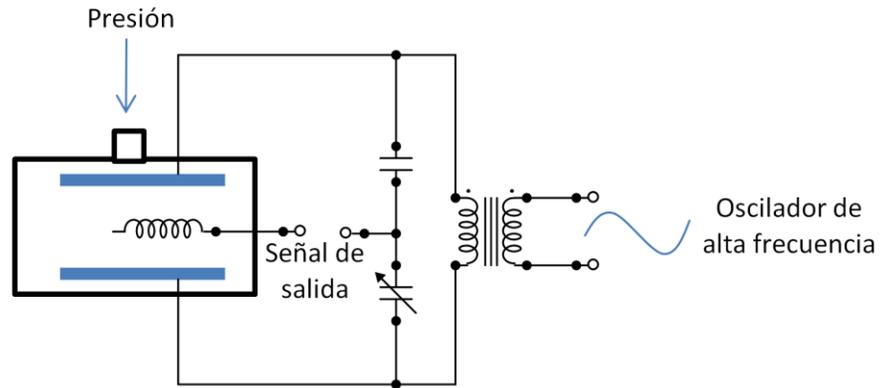
La figura 9 ilustra la válvula de *TRIP* y su funcionamiento:

Figura 9. **Esquema del funcionamiento de la válvula de *TRIP***



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

Figura 10. **Transductor capacitivo**



Fuente: elaboración propia, con base del programa Circuit Maker.

Las galgas extensométricas (*strain gage*) se basan en la variación de longitud y diámetro, por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión. La aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

Ya que la variación de presión provoca una variación en la resistencia, esta puede ser medida y estará relacionada con la presión.

$$P \propto R \quad (2)$$

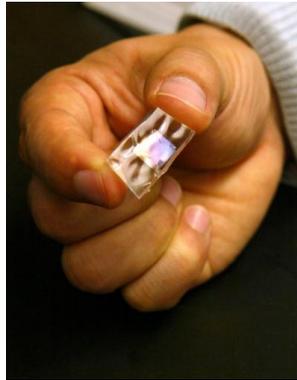
$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

$$P \propto \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

Los transductores piezoeléctricos son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el

cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150°C en servicio continuo y de 230°C, en servicio intermitente.

Figura 11. **Chip de pieza de goma “piezo-rubber chips”**



Fuente: Princeton University.

Las variables físicas de presión que se monitorearán en el turbogenerador se listan a continuación:

- De entrada de vapor
- De vapor de escape
- De vapor en cámara de la rueda
- De aceite P3
- De aceite P1
- De diferencial de filtro de aceite
- De aceite de lubricación general
- De aceite de elevación del rotor

2.4.2. Temperaturas

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes e importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, velocidad de captación de la temperatura, distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor, y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos físicos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- Variaciones de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores)
- F.E.M. creada en la unión de dos metales distintos (termopares)
- intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.)

De este modo se emplean los instrumentos siguiente: termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos y termómetros de cristal de cuarzo.

Para esta aplicación, solo se utilizan dos tipos de instrumentos: los termómetros bimetálicos y los de resistencia eléctrica.

Los termómetros bimetálicos se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferróníquel o Invar (35.5% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección. El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor, por cada grado que cambia su temperatura.

La relación ente estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_o(1 + \alpha t) \quad (5)$$

R_o = Resistencia en ohmios a 0°C

R_t = Resistencia en ohmios a t°C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia

Si la relación resistencia-temperatura no es lineal la ecuación general pasa a:

$$R_t = R_o[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \text{ de } -200 \text{ a } 0^\circ\text{C} \quad (6)$$

o bien

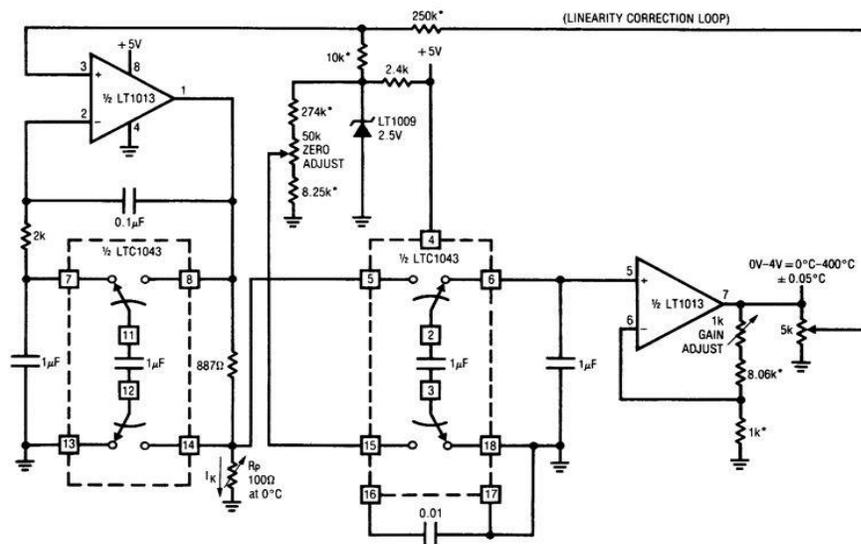
$$R_t = R_o[1 + At + Bt^2 +) \text{ de } 0^\circ\text{Ca } 850^\circ\text{C} \quad (7)$$

La imagen del circuito eléctrico que se muestra a continuación, es de una RTD marca Rosemount 118MFRTD.

Las variables físicas de temperatura que se monitorearán en el turbogenerador se listan a continuación:

- De entrada de vapor
- De la carcasa de las válvulas de regulaje
- De la carcasa de la tubería
- De tanque de aceite
- De aceite después del enfriador
- De aceite antes del enfriador de aceite
- De metal cojinete radial turbina L.N.A.
- De metal cojinete axial exterior de turbina

Figura 12. RTD Rosemount® 118MFRTD



Fuente: www2.emersonprocess.com. Consulta: marzo de 2011

- De metal cojinete axial interior de turbina
- De metal cojinete radial turbina L.A.
- De aceite cojinete reductor eje de alta L.N.A.
- De aceite cojinete reductor eje de alta L.A.
- De aceite cojinete reductor eje baja L.N.A.
- De aceite cojinete reductor eje baja L.A.
- De después del atemperador

2.4.3. Desplazamientos y vibraciones

Los sensores de desplazamiento axial o de posición, son sensores inductivos que han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo, generado al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador y un circuito de salida.

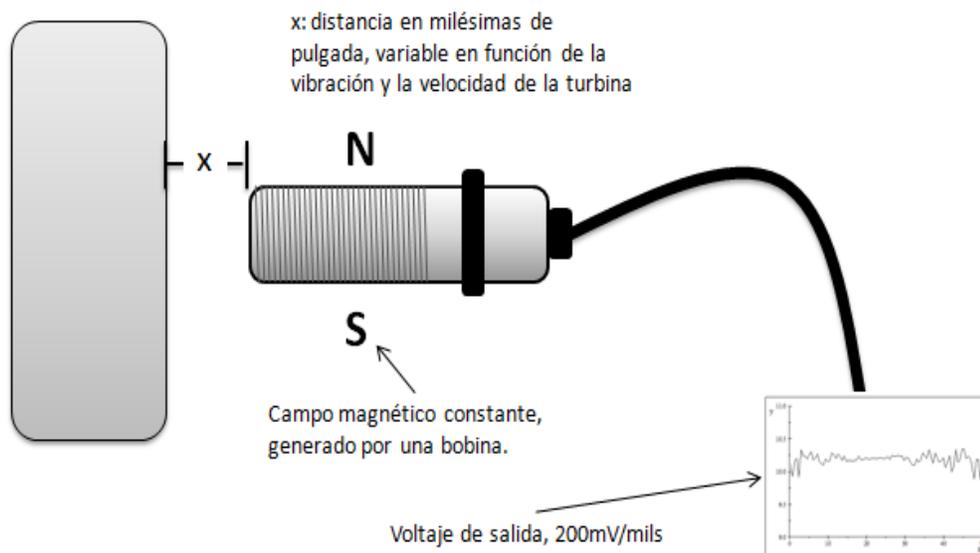
Al aproximarse un objeto “metálico” se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello, hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce estas variaciones de amplitud, que son transmitidas a un dispositivo que convierte estas señales eléctricas oscilantes, a una señal escalada de corriente o voltaje.

Las variables físicas de vibración y desplazamiento que se monitorearán en el turbogenerador se listan a continuación:

- Desplazamiento axial 1
- Desplazamiento axial 2

- Vibración radial eje de alta L.N.A. X (lado no acoplado)
- Vibración radial eje de alta L.N.A. Y
- Vibración radial eje de alta L.A. X (lado acoplado)
- Vibración radial eje de alta L.A. Y
- Vibración radial reductor eje de alta L.A. X
- Vibración radial reductor eje de alta L.A. Y
- Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. X
- Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. Y
- Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. X
- Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. Y
- Vibración radial reductor eje de baja L.A. X
- Vibración radial reductor eje de baja L.A. Y

Figura 13. **Sensor de posición y vibración**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

- Vibración radial eje de generador L.A. X
- Vibración radial eje de generador L.A. Y
- Vibración radial eje de generador L.N.A. X
- Vibración radial eje de generador L.N.A. Y

2.4.4. Variables eléctricas

Para poder medir las variables eléctricas, es necesario el uso de instrumentos llamados CT y PT.

Los CT y PT o transformadores de corriente y voltaje respectivamente, son un tipo de instrumentos transformadores diseñados para proveer una corriente o voltaje eléctrico en el devanado secundario que es proporcional a la corriente o voltaje alterno que fluye a través del devanado primario. Son utilizados para medir y proteger la transmisión industrial de energía eléctrica; estos facilitan de forma segura la medición de grandes corrientes, frecuentemente con voltajes altos. El transformador de corriente aísla de forma segura la medición y control de circuitos en donde típicamente está presente un alto voltaje.

Son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y constituidos en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario, según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto de un campo magnético

estático. Es así que cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida.

Las ecuaciones que describen el fenómeno son:

$$\oint_1 E \cdot dl = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (8)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (9)$$

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (10)$$

La explicación a las ecuaciones descritas anteriormente, están fuera del alcance de este trabajo, pero si se desea más información al respecto, deben consultarse las ecuaciones de Maxwell.

Las variables físicas de vibración y desplazamiento que se monitorearán en el turbogenerador se listan a continuación:

- Corriente L1
- Corriente L2
- Corriente L3
- Corriente promedio
- Voltaje L1-N
- Voltaje L2-N
- Voltaje L3-N
- Voltaje promedio de línea
- Voltaje L1-L2
- Voltaje L2-L3
- Voltaje L3-L1

- Voltaje L-L promedio
- Frecuencia
- Potencia activa L1
- Potencia activa L2
- Potencia activa L3
- Total de potencia activa
- Potencia reactiva L1
- Potencia reactiva L2
- Potencia reactiva L3
- Total de potencia reactiva
- Potencia aparente L1
- Potencia aparente L2
- Potencia aparente L3
- Total potencia aparente
- Factor de potencia L1
- Factor de potencia L2
- Factor de potencia L3
- Factor de potencia de las tres fases
- Energía activa, reactiva y aparente

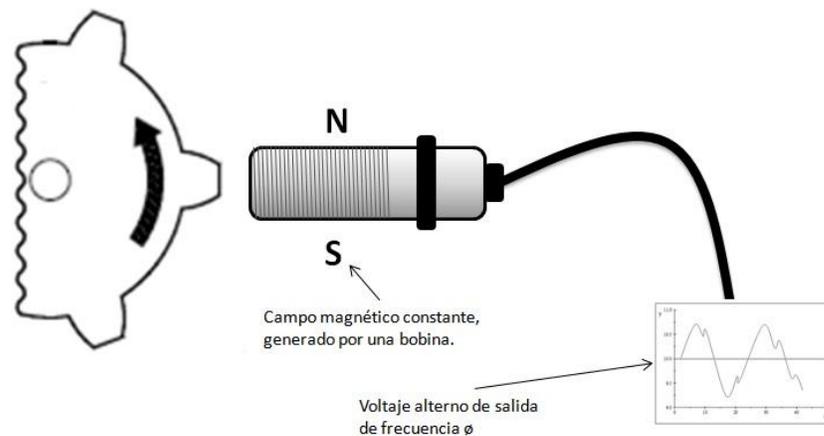
2.4.5. Variables de velocidad

Para medir la velocidad, se utilizan sensores conocidos como *Magnetic Pick up*. El *Magnetic Pick up* es un dispositivo electrónico utilizado para medir altas velocidades. Cuando un material magnético (usualmente una rueda dentada metálica) pasa a través del campo magnético estático generado por el sensor, se genera un voltaje alterno. La frecuencia del voltaje alterno se puede traducir en la velocidad angular.

Las variables físicas de vibración y desplazamiento que se monitorearán en el turbogenerador se listan a continuación:

- Velocidad de turbina
- Velocidad de generador

Figura 14. **Magnetic Pick Up**



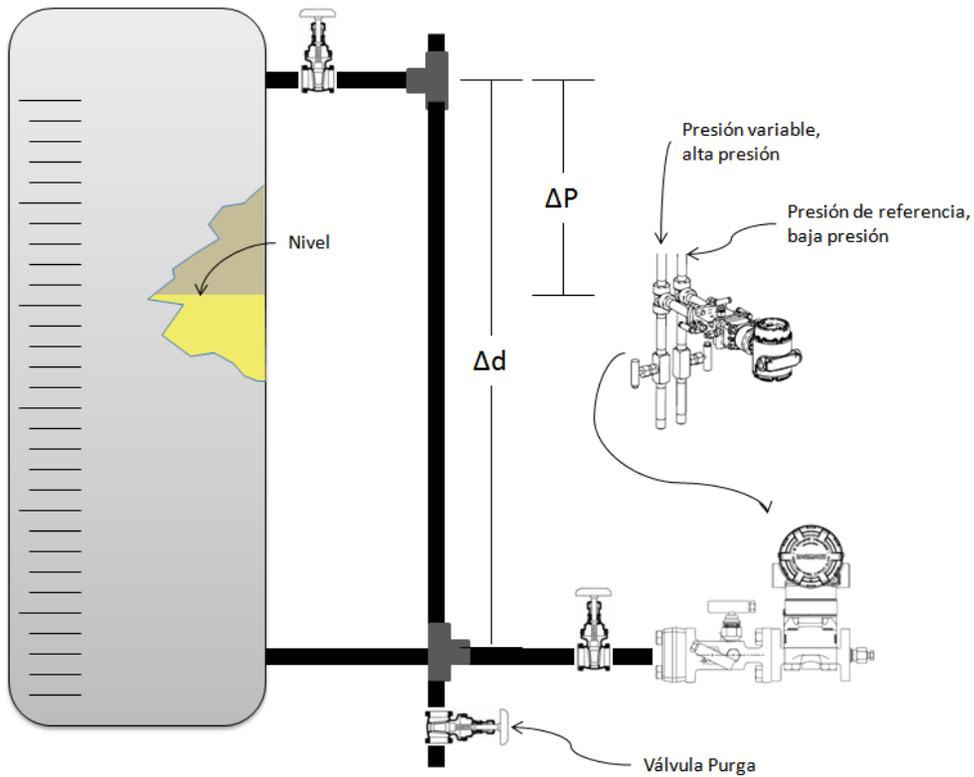
Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

2.4.6. Nivel

Para medir el nivel de un tanque, se utiliza un transmisión de presión diferencial, el transmisor de presión diferencia mide la diferencia entre una presión de referencia y la presión actual de la columna del material a medir; con base en esta diferencia calcula el nivel del tanque. Este tipo de transmisores es utilizado para medir tanques cerrados.

Una vez la turbina se encuentre en operación, se debe tener un control sobre esta, el control se logra monitoreando las diversas variables mencionadas anteriormente y con base en las mediciones, se toman decisiones de operación o se ejerce control sobre el turbogenerador.

Figura 15. **Medición de nivel en tanques cerrados**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

La única medición de nivel, que se supervisa en el turbogenerador, es la del tanque de aceite.

2.5. Recursos humanos y materiales

Todos los recursos necesarios para la elaboración del presente trabajo, se detallan a continuación.

2.5.1. Recursos humanos

El recurso humano es una parte fundamental para cualquier proyecto de ingeniería. Para alcanzar los objetivos propuestos, es vital elegir al personal adecuado que estará dentro del proyecto. Uno de los principales problemas en este tipo de proyectos, es la necesidad de personal altamente calificado, para realizar las diversas tareas, que lleven a un proyecto finalizado exitosamente. La calidad del personal dependerá mucho de la experiencia y la formación técnica.

En el presente proyecto, se necesita de un equipo completo de trabajo, que incluya:

- Jefe de proyecto
- Supervisor de proyecto
- Ingeniero de automatización
- Desarrollador de *software*
- Técnicos instrumentistas calificados
- Metrólogo
- Personal no calificado

El trabajo de un jefe de proyecto de automatización implica la conducción de un proyecto desde su concepción original hasta la puesta en marcha. El jefe de proyecto tiene diversas tareas:

- Definir el proyecto y evaluar sus necesidades
- Redactar las especificaciones del proyecto
- Calcular el costo del proyecto
- Contratar al equipo

Realizar un seguimiento e informes del progreso del proyecto, en términos de calidad, costo y plazos de entrega.

Lo más importante es que el jefe de proyecto debe contar con habilidades de gestión de proyectos, para lo cual se debe poseer un sentido metódico y riguroso de la organización, además de habilidades interpersonales y conocimientos técnicos sobre el campo en cuestión.

El supervisor del proyecto es el encargado de darle seguimiento al proyecto diariamente, realizar informes del avance del mismo, entre sus funciones se encuentra parte de la logística del proyecto, previendo retrasos por cualquier circunstancia.

El supervisor debe contar con alta experiencia en proyectos a fines, debe tener conocimientos de neumática, electricidad, electrónica, instrumentación, metrología, salud y seguridad ocupacional, mecánica y en el mejor de los casos debe ser un ingeniero electrónico, electricista o mecánico eléctrico; aunque un técnico especializado podría reemplazarlo.

Dentro de las tareas del ingeniero de automatización se encuentra el diseño del montaje de todo el equipo electrónico e instrumentos, la puesta en marcha del equipo electrónico, verificar el correcto funcionamiento de los instrumentos, el diseño de la arquitectura del *hardware*, la comunicación entre los diferentes periféricos de entrada y salida, entre otras funciones.

El ingeniero de automatización, debe tener conocimientos de *hardware* y *software* de control, redes industriales, desarrollo de *software*, instrumentación, metrología, electrónica, electricidad, neumática y mecánica.

El desarrollador de *software* debe darle la funcionalidad a la máquina, utilizando programación de alto nivel. Es el encargado de transformar las especificaciones de la lógica de control definidas en el diseño de la máquina a un lenguaje de programación. Debe desarrollar la interfaz hombre máquina o HMI y el manual de control. El desarrollador del *software* es parte fundamental a la hora de la puesta en marcha del turbogenerador, ya que se debe verificar el correcto funcionamiento de toda la lógica de control.

El diseño que implica la traducción de las especificaciones de la lógica de control, en instrucciones y la creación de un modelo informático. Las dos funciones de programador y diseñador se han fusionado gradualmente. Por esta razón, se le da el nombre de analista/programador que es sinónimo de "desarrollador". Debe tener habilidades en programación, redes industriales, *software* de control, instalación y configuración de equipo electrónico. Además de los conocimientos técnicos, el desarrollador debe tener un amplio conocimiento del funcionamiento de la máquina a controlar.

Los técnicos instrumentistas deben realizar todo el montaje del equipo eléctrico y electrónico. Los técnicos instrumentistas tienen la tarea de realizar el montaje de los distintos dispositivos de campo, empezando con el montaje de los *rack* de entradas y salidas, el controlador, los instrumentos de control, el cableado eléctrico, realizar las conexiones eléctricas de los diferentes dispositivos eléctricos y electrónicos y además configurar algunos equipos electrónicos.

Los técnicos instrumentistas deben tener conocimientos de electricidad, electrónica, mecánica, neumática y metrología.

El metrólogo es un técnico especializado en verificación y calibración de instrumentos, la tarea es garantizar la exactitud y precisión de los instrumentos.

El metrólogo preferiblemente debe ser un técnico instrumentista especializado en metrología, debe tener las mismas habilidades que un técnico instrumentista, debe haber recibido capacitaciones sobre metrología y estar certificado en dicha área. Dentro del proyecto es el encargado de la verificación y calibración de los instrumentos de medición.

Dentro del proyecto es necesario contar con la ayuda de personal no calificado que se encuentre en formación para futuros proyectos; por esta razón el personal no calificado deben recibir entrenamiento y su función es asistir a los instrumentistas y al metrólogo en las diferentes tareas que no requieran un conocimiento técnico. Ya que el tipo de trabajo en que se involucra el personal no calificado presenta ciertas dificultades técnicas, se recomienda que sean estudiantes sin experiencia en áreas afines o personal que se adapte fácilmente a la tecnología, conocidos como “*early adpaters*”.

2.5.2. Recursos materiales

La disponibilidad de los materiales es un factor fundamental en el desarrollo de un proyecto de ingeniería, los materiales deben estar disponibles en las diferentes etapas del proyecto, para hacer esto se debe tener un plan de todos los equipos y materiales a utilizar. Dentro del material se encuentra todo el *hardware* de control y de red, *software* de control, instrumentación, equipo electrónico, materiales eléctricos, materiales electrónicos, consumibles, etc

2.6. Método de la ruta crítica del proyecto (CPM)

El CPM por sus siglas en inglés, es un método de la ruta crítica a seguir en un proyecto, en donde se listan todas las tareas y subtareas, se le asigna una fecha tentativa de inicio, un tiempo de entrega, recursos, instrucciones, etc. Además de esto ordena las tareas no solo cronológicamente sino que también secuencialmente, respondiendo a finalización de tareas e inicio de otras, las cuales no se pueden empezar sin que se haya completado la anterior.

El CPM del proyecto se muestra en el anexo 1.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control debe ser cuidadosamente diseñado, para que cumpla con el rendimiento requerido, un error en las capacidades de procesamiento, podría ocasionar costos extras, ya sea por falta de recursos o por sobredimensionamiento de los equipos de control.

Dentro del diseño del sistema de control, se deben tomar en cuenta todos los factores que puedan afectar a la operación de la máquina a controlar; para el presente caso, se debe diseñar de tal manera que el control no se interrumpa de ninguna forma, ya que ocasionaría pérdidas económicas significativas por cada hora de paro. Por tal motivo se le debe dar mucho énfasis en la disponibilidad del sistema de control. Dentro de la disponibilidad del sistema de control, se debe tener una fuente de energía segura, de buena calidad y redundante, en caso de falla del sistema eléctrico.

Otro de los aspectos importantes a la hora de diseñar un sistema de control son las seguridades; estas son un factor importante y son cruciales a la hora de un comportamiento no esperado de la máquina, que pueda ocasionar lesiones discapacitantes al personal, pérdidas humanas o económicas.

Dentro del diseño del sistema de control se encuentran las comunicaciones a emplear; esto es un factor importante ya que una pérdida o corte de las comunicaciones, ocasiona el paro inmediato de la máquina. Actualmente, en la industria la tendencia de las comunicaciones es el uso de la red Ethernet, la cual es una red bastante fiable lo que la hace la preferida por

los nuevos usuarios; comparada con las redes bus, la red Ethernet está tomando mayor auge en las redes industriales.

Dentro del diseño del sistema de control, hay que tomar en cuenta las variables críticas de medición, estas las especifica el diseñador de la máquina; el diseño de la máquina determina la tolerancia de las mediciones de control. El error de las mediciones de los instrumentos, debe ser menor de la tolerancia del proceso, para lograr esto, se deben elegir cuidadosamente los instrumentos para que cumplan con las especificaciones del cliente.

Las especificaciones y lógica de control la proporciona el cliente, con base en esto, el desarrollador debe ponerse a la tarea de hacer funcional dichas especificaciones de control.

3.1. Arquitectura y hardware de control

Los productos que se utilizarán en el presente proyecto serán proporcionados por Rockwell Automation, se cuenta con una herramienta desarrollada por Rockwell Automation llamada IABuilder; con esta herramienta se puede dimensionar el *hardware* requerido para la construcción de la arquitectura a emplear.

Se requiere que el cerebro del control sea un controlador de Rockwell Automation de la familia de controladores 1756-L6 que tienen una capacidad máxima de 250 conexiones, una memoria de 64 a 128 MB y una de usuario desde 2MB.

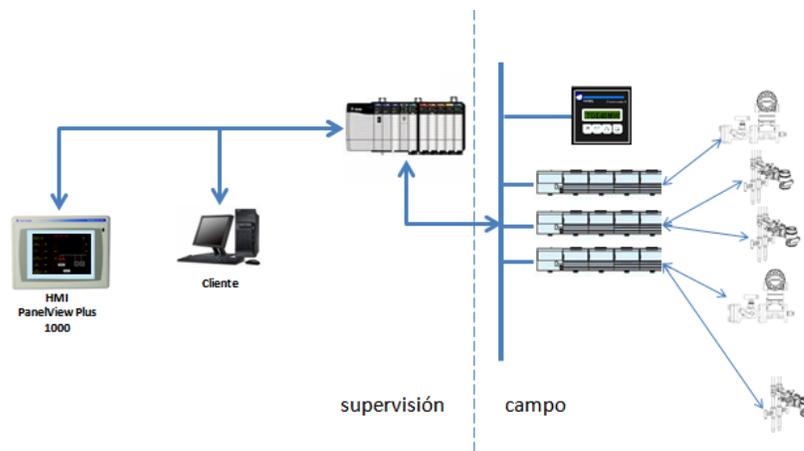
El controlador a implementar debe soportar por lo menos 10 tareas, debe tener comunicación RS-232; se le debe incorporar dos módulos de

comunicación Ethernet/IP, uno para la red de supervisión y otro para la red de campo.

Respecto del *hardware* de campo, se deben utilizar *racks* remotos de entradas y salidas con cabeceras de comunicación ethernet, que sean capaces de mapear tanto señales digitales como análogas. Para este proyecto se utilizará el sistema de Rockwell Automation FLEX™ I/O; este sistema cuenta con dispositivos modulares e intercambiables, lo que permite un bajo costo y flexibilidad.

El sistema a implementar utilizará la tecnología de FLEX™ I/O la cual se compone de un módulo de cabecera de comunicación, terminales de conexión estándar, módulos de entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas, salidas analógicas y fuentes de poder modulares. Todos estos módulos son intercambiables en caso de que alguno se dañe; esto es fundamental a la hora de tomar acciones correctivas de emergencia para poder restablecer el sistema de control inmediatamente.

Figura 16. **Arquitectura de control**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

La figura 16 muestra la arquitectura a implementar, cuenta con un chasis de 7 *slots*, una fuente de voltaje de 120 VAC a 24VDC, una fuente redundante de voltaje de 120 VDC a 24 VDC, un procesador 1756-L61, dos módulos de red 1756-ENBT, un panel View, un cliente remoto, tres *rack* de I/Os; la instrumentación conectada hacia los *racks* de I/Os utilizando señales de 4mA a 20mA con protocolo HART® y los módulos de I/Os. A continuación se listan los componentes principales de *hardware*:

Tabla II. **Lista de materiales**

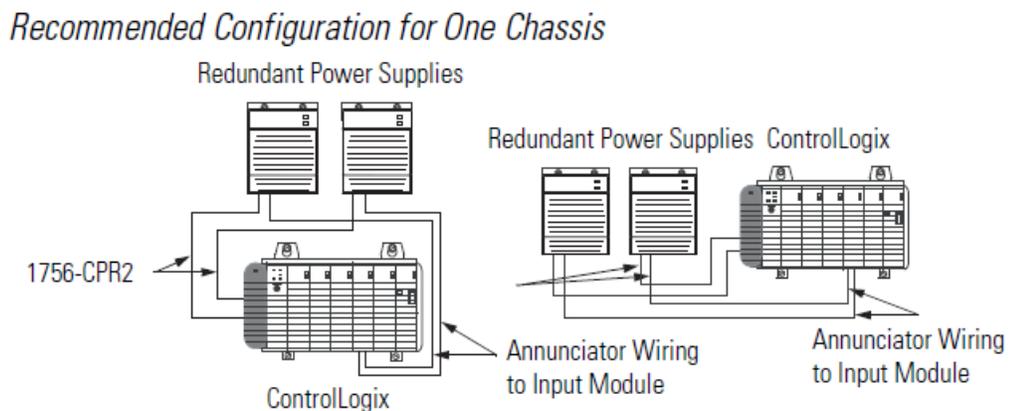
ID	Qty	Catálogo	Descripción
HARDWARE DE CONTROL			
1	1	1756-L61	Procesador logix 5561 con 2mbytes de memoria
2	1	1756-A7	Chasis controllogix 7 slot
3	2	1756-ENBT	Módulo bridge ethernet 10/100, cable pares trenzados
4	2	1756-CPR2	Cable para fuente de alimentación redundante
5	1	1756-PSCA2	Módulo adaptador de fuente redundante a chasis
6	1	1756-PA75R	Fuente de alimentación redundante 85-265 vca.
7	1	1756-PB75R	Fuente de alimentación redundante 19-32 vcc.
8	5	1794-IE8	Módulo 8 e. Analógicas.
9	1	1794-OE4	Módulo de 4 s. Analógicas de 12 bits
10	3	1794-AENT	Adaptador ethernet pares trenzados para flex i/o
11	3	1794-IB16	Módulo de 16 e. A 24 vcc
12	1	1794-IB32	Módulo de 32 e a 24 vcc
13	1	1794-OB16	Módulo de 16 s. A 24 vcc
14	1	1794-OB32P	Módulo de 32 s a 24 vcc
15	3	1794-PS13	Fuente alimentación 110/220 vca a 24 vcc, 1,3a.
16	2	1794-IR8	Módulo 8 e. Rtd
17	12	1794-TB3	Base de conexión de 3 hilos.
18	2	1783-MS06T	Stratix 8000 managed ethernet switch
19	2	1783-SFP1GSX	Stratix sfp (modular fiber optic transceiver)
20	2	1783-SFP1GSX	Stratix sfp (modular fiber optic transceiver)
21	1	1404-M805A-ENT-02	1404-m8 ethernet pm3000 class 0.2
22	1	2711P-T7C4D1	Pv plus 700, tactil, ethernet, puerto serie rs232,

Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Excel.

El chasis es el componente en donde van instalados todos los módulos de comunicación, procesamiento o de IO's. Permite la comunicación entre los diversos módulos.

Para garantizar la disponibilidad del sistema de control, se utiliza un arreglo de fuentes redundantes, la figura 17 extraída del manual de fuentes redundantes de Rockwell, muestra la conexión de las fuentes redundantes.

Figura 17. **Arreglo de fuentes redundantes**



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: febrero de 2011. Consulta: marzo de 2011.

El controlador está diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Dentro de la memoria del controlador, se encuentra almacenado el programa encargado de automatizar la máquina y contiene toda la lógica de operación. Ya que el monitoreo de todas las señales debe ser en tiempo real, el controlador debe ser de alto rendimiento y alta velocidad.

Para la aplicación se utilizará un controlador 1756-L61, que es un controlador de Rockwell Automation el cual puede ser montado en el chasis

anteriormente descrito; además de esto, uno o varios controladores se pueden montar sobre el mismo chasis pero operando individualmente. El 1756-L61 es capaz de monitorear y controlar las I/Os a través de la placa madre del chasis (*backplane*) y el mismo puede salir a través de los módulos de comunicación hacia otros *links*, lo que significa que es posible mapear I/Os remotamente dentro de una red industrial.

El controlador 1756-L61 puede comunicarse a través de una red Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet, DH+ y RS232. Para este proyecto se utilizará una red Ethernet por la versatilidad de dicha red.

Figura 18. **Chasis, fuente de voltaje, controlador1756-L61 y 3 módulos de comunicación**



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: febrero de 2011.

El *software* de desarrollo que se utilizará para este proyecto es el RSLogix5000, RSLogix5000 está diseñado para programar controladores de la familia Logix 5000 y para la plataforma Logix de Rockwell Automation®. Utiliza

varios tipos de lenguaje de programación como: escalera, bloques de funciones, texto estructurado y esquemas de funciones secuenciales.

Los módulos de comunicación Ethernet/IP 1756-ENBT pueden instalarse localmente sobre el chasis y funcionan como un puente hacia el controlador o puede montarse en el chasis de I/Os remotos y funcionar como un adaptador de I/Os remoto. Como adaptador, el 1756-ENBT puede usarse para controlar remotamente entradas, salidas, señales análogas o módulos especiales.

3.1.1. Racks remotos

La idea principal del uso de *racks* remotos es lograr un mejor acceso a los diversos instrumentos; lo que reduce costos de cableado eléctrico extenso, costos de amplificación de señales, costos de montaje y tiempo.

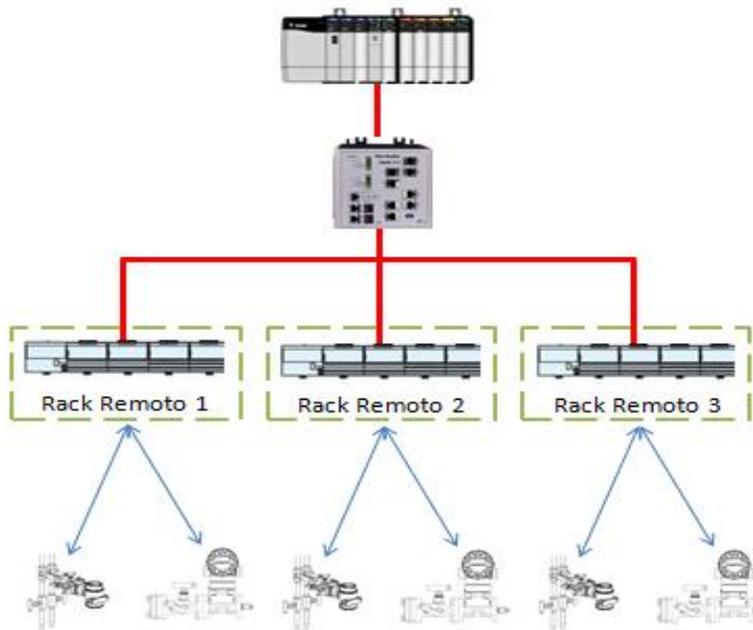
El controlador debe poder mapear los I/Os de los *racks* remotos, para lograr esto los *racks* requieren de adaptadores de comunicación. Para el presente proyecto se utilizará el sistema FLEX™ I/O el cual usa módulos de comunicación 1794-AENT, que operan con una alimentación de voltaje de 24 VDC que puede ser provista por una fuente de alimentación modular 1794-PS13.

El módulo adaptador convierte el voltaje de 24 VDC a un voltaje de 5 VDC y alimenta a la tarjeta madre de los módulos. La tarjeta madre es modular, lo que significa que se le pueden agregar módulos independientemente; para esto se utilizan unas bases 1794-TB3 y sobre estas encajan los módulos de I/Os. Los módulos FLEX I/O se dividen en módulos de entradas y salidas digitales, analógicos y especiales de entradas y salidas. La figura 19 muestra la idea básica de utilizar *racks* remotos.

3.1.2. Arquitectura de red

En el proyecto se utilizará una red Ethernet/IP, para eso se necesita armar una pequeña red utilizando un switch Stratix8000 de 6 puertos de cobre y 2 puertos de fibra óptica *multimodo*. En la figura 20 se muestra la configuración de red a utilizar.

Figura 19. **Racks remotos**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

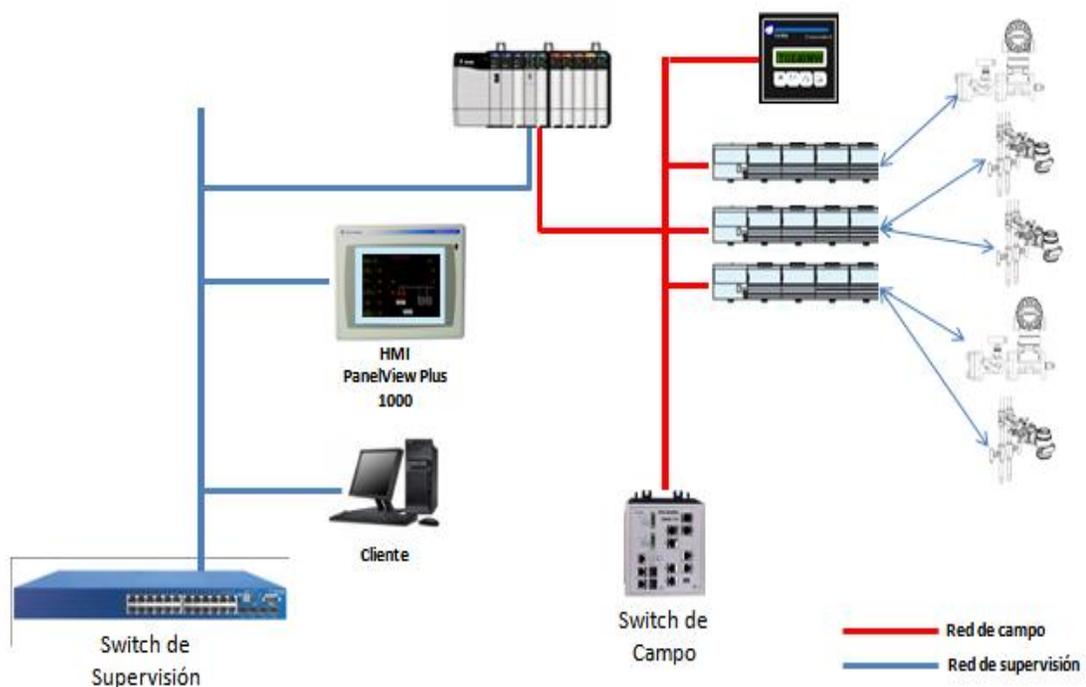
Al *switch* de campo deben ir conectados los nodos de los *racks* remotos y también debe estar conectada la tarjeta de red 1756-ENBT que es el enlace entre el campo y el controlador.

La tarjeta de red 1756-ENBT de supervisión debe conectarse al *switch* de supervisión. La conexión entre el *switch* de supervisión y el módulo 1756-ENBT montado en el chasis del controlador permitirán el monitoreo desde

cualquier parte de la planta en donde se cuente con red de supervisión para poder supervisar el funcionamiento de la máquina.

Gracias a la tecnología de Ethernet/IP el monitoreo remoto por medio de la red de supervisión es bastante versátil, ya que esto permite el control de las máquinas prácticamente desde cualquier lugar, incluso podría controlarse desde internet, lo cual no es muy recomendable por el porcentaje de disponibilidad del servicio de internet, debería ser una red bastante segura, en donde la probabilidad de pérdida de datos o fallas en el sistema sea mínima.

Figura 20. **Arquitectura de red**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

anteriormente, además podrá realizar la secuencia de armado remotamente; en fin, podrá visualizar las variables y actuar sobre la turbina .

Para lograr esto es necesario utilizar un *software* HMI, para el presente proyecto se usa el *software* de Rockwell, FactoryTalk View Machine Edition. FactoryTalk View ME utiliza un cliente ejecutable desde cualquier computador o también puede montarse en una terminal gráfica.

Para este proyecto se implementan dos clientes, una computadora de escritorio común como el cliente No.1 y una terminal gráfica como el cliente No.2.

Los requerimientos para la computadora se listan a continuación:

Tabla III. **Requerimientos de computadora cliente**

Atributos	Requerimiento
<i>Hardware</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador Pentium 4 o superior • CPU de 2.0 GHz • 1GB de memoria RAM • Tarjeta de video ATI • Tarjeta Ethernet • Respaldo de energía UPS
Configuración	<ul style="list-style-type: none"> • Hyper-threading habilitado • <i>Hardware</i> DEP habilitado • Dirección IP estática • <i>Speed/Duplex</i> a 100 MB, full duplex • Sin <i>screen saver</i> • Sin administrador de energía •

Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Word.

Los requerimientos de *software* son los siguientes:

Tabla IV. **Requerimientos mínimos de *software* para cliente.**

Software	Productos
Sistema Operativos	Windows XP SP2
Software de Visualización	RSView ME <i>client</i>

Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Word.

Figura 22. **PanelView Plus 1000**



Fuente: Allen Bradley. Consulta: marzo de 2011.

La terminal gráfica que se utilizará será un PanelView Plus 1000 de 10.4'' a colores con una resolución de 640 x 480 y 18 bits de memoria de gráficos, además con pantalla *touchscreen* para el fácil acceso. Con esta terminal el operador podrá tener un fácil acceso a todas las variables, a una corta distancia del turbogenerador.

3.2.2. Sistema de protección por vibraciones

El sistema de protección por vibraciones es uno de los equipos críticos en la seguridad de una turbina y un generador eléctrico. La vibración en una máquina es una indicación del mal funcionamiento de las partes mecánicas de la máquina que podría ocasionar daños más severos a ésta. Los daños podrían ser:

Rotura de uno de los álabes, lo cual ocasiona un desbalance dinámico del rotor y produce una vibración excesiva.

Estiramiento de los álabes debido al tiempo de operación excesivo o por esfuerzo térmico debido a elevadas temperaturas. Este estiramiento produce que los álabes rocen el sello de aire y se produzca vibración.

Las partes fijas principales son las chumaceras o cojinetes del eje principal de la unidad, los daños generalmente son por fallas del material, lo que ocasiona que la película de aceite sobre la que se desliza el eje de la turbina pierda su característica original y produzca movimientos verticales del eje que excede los límites de vibración permitidos.

La ventaja del sistema de protección por vibración es que detecta fallas mecánicas incipientes, por lo que se puede corregir con un mantenimiento preventivo de la unidad, evitando que se produzcan situaciones de peligro y se atente contra la vida útil de la máquina

El sistema de protección por vibración que se utilizará en este proyecto, es un sistema de General Electric que provee un monitoreo continuo de las vibraciones y posee un disparo en caso las vibraciones estén fuera del rango

permitido por el fabricante de la turbina. El sistema es el Bently Nevada 3500, es un sistema bastante versátil, que posee un chasis de comunicación modular al igual que el chasis de Rockwell, posee fuentes redundantes, un procesador, módulos de comunicación, módulos de monitoreo de vibraciones y módulos de relés.

Figura 23. **3500 Series**



Fuente:www.ge-energy.com. Consulta: marzo de 2011.

Cuenta con un monitoreo de las variables a través de su puerto RS232 y un display, en donde se pueden visualizar de forma gráfica todas las variables; además cuenta con un completo *software* de configuración y monitoreo; es posible hacer un *tracking* de las variables a controlar.

Por ejemplo durante la puesta en marcha de las turbinas, las turbinas van de 0 rpm a 3600 rpm de forma escalonada, la naturaleza de la turbina provoca que entre en resonancia; la resonancia es un estado de operación en el que una frecuencia de excitación se encuentra cerca de una frecuencia natural de la máquina.

La frecuencia a la que un objeto vibra de manera natural se le llama frecuencia natural. La resonancia se define como la tendencia de un sistema

físico a oscilar con una amplitud mayor en algunas frecuencias. Por tal motivo la turbina tenderá a vibrar con una amplitud mayor dentro de un rango de frecuencias; esta amplitud debe ser menor a la amplitud de diseño, con el monitoreo continuo es posible ver la amplitud de las vibraciones en función de la frecuencia o velocidad angular de la turbina, lo que puede dar un rango de frecuencias en donde se produce la resonancia.

3.2.3. Gobernador de la turbina

El control de la potencia real generada se obtiene mediante el torque mecánico, para el caso de una turbina de vapor, controlado por las válvulas de regulación de vapor a la turbina o válvulas d admisión.

Figura 24. **505 Woodward**



Fuente: [Www.woodward.com](http://www.woodward.com). Consulta: marzo de 2011.

Si se aumenta el torque mecánico a partir de una condición de equilibrio, y suponiendo que el campo magnético exterior permanece constante, se incrementa la velocidad de rotación de los conductores los cuales cortan mayor cantidad de líneas de fuerza de campo magnético en la unidad de tiempo lo que produce un aumento de la corriente inducida, cuya interacción con el campo magnético constante aumenta el torque electromagnético y se restablece el equilibrio dinámico. Esta capacidad natural de mantener un equilibrio entre el

torque mecánico y el electromagnético permite un comportamiento de velocidad aproximadamente constante independientemente de las condiciones de carga.

Lo anterior expuesto indica que se debe tener un gobernador que regule las válvulas de admisión para mantener el balance entre potencia activa generada y demandada, esta es la principal tarea del 505 de Woodward; el 505 es un controlador que detecta desviaciones de la frecuencia con respecto a su valor de referencia o nominal, para ordenar la acción correspondiente hasta recuperarse el valor de operación normal de 60 ciclos por segundo. Ya que la frecuencia es un indicador sensitivo del balance de la potencia activa en el sistema, es conveniente usarla en un sistema de control para mantenerlo automáticamente.

3.2.4. Protección de sobre velocidad

Si la turbina se encuentra en desequilibrio magnético o fuera de línea y las válvulas de admisión de vapor fallaran, la turbina tendería a aumentar la velocidad rápida y descontroladamente, por tal motivo debe accionarse un disparo de emergencia. Para lograr el disparo de emergencia se utiliza un equipo electrónico de Woodward® llamado ProTech 203, el ProTech 203 es un dispositivo monitoreo de velocidad redundante. El ProTech 203 es un sistema de protección digital de disparo por sobrevelocidad que monitorea la velocidad a través tres sensores de velocidad llamados magnéticos (MPU's, magnetic pick ups). Consiste en tres monitores de velocidad independientes que activan el disparo cuando se detecta una condición de sobre velocidad.

Figura 25. **ProTech 203 de Woodward**



Fuente: [Www.woodward.com](http://www.woodward.com). Consulta: marzo de 2011.

3.2.5. Sistema de regulación de vapor

Para mantener una carga constante, es necesario contar con un sistema de válvulas reguladoras de vapor; estas son controladas por una presión de fluido hidráulico variable; para lograr esa presión de fluido hidráulico variable es necesario contar con un dispositivo que sea capaz de convertir una señal eléctrica a una presión hidráulica; para este proyecto se utiliza un dispositivo de Woodward llamado CPC-II

El CPC-II es un dispositivo electrónico que contiene un PID's para controlar la presión de salida P3, la presión P3 es la presión hidráulica que regula las válvulas de admisión. El montaje del CPC-II se detallará en la sección 5.7.1.

3.3. Instrumentación electrónica

La instrumentación electrónica son todos los dispositivos electrónicos que colectan información de las variables físicas, las cuales son utilizadas para el monitoreo y control de procesos.

Dentro de la instrumentación electrónica se encuentran las mediciones de presión, temperatura y nivel; para esto se utilizarán transmisores Rosemount.

Para las mediciones de vibración, se utilizará el sistema de transductores de proximidad 3300 de Bently Nevada, que consiste en:

- Un sensor 3300 XL 8mm
- Un cable de extensión 3300 XL y
- Un 3300 Proximito[®] Sensor

Para la medición de velocidad se utilizan los *magnetic pickups* que son dispositivos electrónicos utilizados para medir altas velocidades.

En el anexo 4 se encuentra el diagrama completo del diseño del sistema de control.

4. COSTOS

La tabla siguiente pretende dar un aproximado de los costos totales del proyecto, sin embargo no se incluye una serie de dispositivos que están fuera del alcance del mismo, el fin principal de presentar los costos, es que el lector se dé una idea de la magnitud de lo que un proyecto de este tipo conlleva y a pesar de la magnitud, la automatización industrial es de gran importancia en el retorno de la inversión.

Tabla V. **Costos del proyecto**

ID	Qty	Catalogo	Descripción	Un	Costo unitario	Sub-Total
HARDWARE DE CONTROL						
1	1	1756-L61	Procesador logix 5561 con 2mbytes de memoria	Un	\$ 5 090,00	\$ 5 090,00
2	1	1756-A7	Chasis controllogix 7 slot	Un	\$ 450,00	\$ 450,00
3	2	1756-ENBT	Módulo bridge ethernet 10/100, cable pares trenzados	Un	\$ 1 770,00	\$ 3 540,00
4	2	1756-CPR2	Cable para fuente de alimentación redundante	Un	\$ 87,40	\$ 174,80
5	1	1756-PSCA2	Módulo adaptador de fuente redundante a chasis	Un	\$ 174,00	\$ 1 060,00
6	1	1756-PA75R	Fuente de alimentación redundante 85-265 VCA	Un	\$ 1 060,00	\$ 1 060,00
7	1	1756-PB75R	Fuente de alimentación redundante 19-32 VCC	Un	\$ 1 060,00	\$ 914,00
8	5	1794-IE8	Módulo 8 e, analógicas	Un	\$ 914,00	\$ 4 140,00
9	1	1794-OE4	Módulo de 4 s, analógicas de 12 bits	Un	\$ 828,00	\$ 674,00
10	3	1794-AENT	Adaptador ethernet pares trenzados para flex i/o	Un	\$ 674,00	\$ 867,00
11	3	1794-IB16	Módulo de 16 e, A 24 VCC	Un	\$ 289,00	\$ 1 401,00
12	1	1794-IB32	Módulo de 32 e a 24 VCC	Un	\$ 467,00	\$ 423,00
13	1	1794-OB16	Módulo de 16 s, A 24 VCC	Un	\$ 423,00	\$ 529,00
14	1	1794-OB32P	Módulo de 32 s a 24 VCC	Un	\$ 529,00	\$ 187,00
15	3	1794-PS13	Fuente alimentación 110/220 VCA a 24 VCC, 1,3 ^a	Un	\$ 187,00	\$ 4 320,00
16	2	1794-IR8	Módulo 8 e, Rtd	Un	\$ 1 440,00	\$ 364,00
17	12	1794-TB3	Base de conexión de 3 hilos.	Un	\$ 182,00	\$ 17 520,00

Continuación de la tabla V.

18	2	1783-MS06T	Stratix 8000 managed ethernet switch	Un	\$ 1 460,00	\$ 1 050,00
19	2	1783-SFP1GSX	Stratix STP (modular fiber optic transceiver)	Un	\$ 525,00	\$ 1 050,00
20	2	1783-SFP1GSX	Stratix STP (modular fiber optic transceiver)	Un	\$ 525,00	\$ 11 340,00
21	1	1404-M805A	1404-m8 ethernet pm3000 class 0,2	Un	\$ 5 670,00	\$ 2 890,00
22	1	2711P-T7C4D1	Pv plus 700, tactil, ethernet, 32mb flash/64mb ram	Un	\$ 2 890,00	\$ 2 890,00
23	1	OPT780	Computadora Destop DELL optiplex 780 con Windows XP SP2	Un	\$ 1 227,00	\$ 1 227,00
Total en hardware de control						\$ 63 160,80
Software						
24	1	9791-VWSTENE	Licencia rsviw Studio para rsviw Entreprise	Un	\$ 2 402,00	\$ 2 402,00
25	1	9701-VWSCWAENE	Licencia P/cliente rsviw SE	Un	\$ 2 600,00	\$ 2 600,00
26	1	9324-RLD600ESE	Rslogix Full Edition ES	Un	\$ 5 070,00	\$ 5 070,00
Total en software						\$ 10 072,00
Materiales eléctricos						
27	1	11700 ^a	Belden 4 Pair UTP Enhanced Cat5e Cable Black 1000ft	Un	\$ 470,00	\$ 470,00
28	1	-	Platinum Tools EZ-RJ45 CAT5/5e Connectors Jar of 100	Un	\$ 60,00	\$ 60,00
29	1000	9463-J22	Cable belden 1 par #20 awg	M	\$ 2,15	\$ 2 150,00
30	500	1471 ^a	Cable belden 24 par #18 agw	M	11,4	\$ 5 700,00
31	2		Armario himmel ip66	Un	850	\$ 1 700,00
32	1	-	Tubería y accesorios	Un	8000	\$ 8 000,00
Total en Materiales eléctricos						\$ 18 080,00
Ingeniería						
33	1	-	Ingeniería y documentación	Un	\$ 12 000,00	\$ 12 000,00
34	1		Puesta en marcha	Un	5000	\$ 5 000,00
Total en Ingeniería						\$ 17 000,00
Costos de supervisión y mano de obra						
35	480		Supervisión	Hr	6,1	\$ 2 928,00
36	480		Ingeniero de automatización	Hr	10,28	\$ 4 934,40
37	1920		Técnico Instrumentista calificado	Hr	1,85	\$ 3 552,00
38	480		Metrólogo	Hr	1,6	\$ 768,00
39	1920		Mano de obra no calificada	Hr	0,8	\$ 1 536,00
Total de supervisión y mano de obra						\$ 13 718,40
GRAN TOTAL						\$ 122 031,20

Fuente: elaboración propia, con base en el IO Builder.

5. INSTALACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO

La información que se brindará en este capítulo concierne a la instalación física y eléctrica de los equipos electrónicos a utilizar. Se hará referencia a los manuales de instalación de los diferentes dispositivos. El objetivo es hacer una guía del montaje y configuración de los diferentes equipos.

5.1. Instalación del controlador

El controlador debe poder comunicarse con diferentes periféricos, ya sea de comunicación, procesamiento o de I/Os. Para lograr comunicarse con los periféricos es necesario utilizar un bus, el bus utilizado por los controladores 1756-L61 es el chasis 1756-A7.

Para el montaje del chasis 1756-A7 se deben tener algunas precauciones antes del montaje:

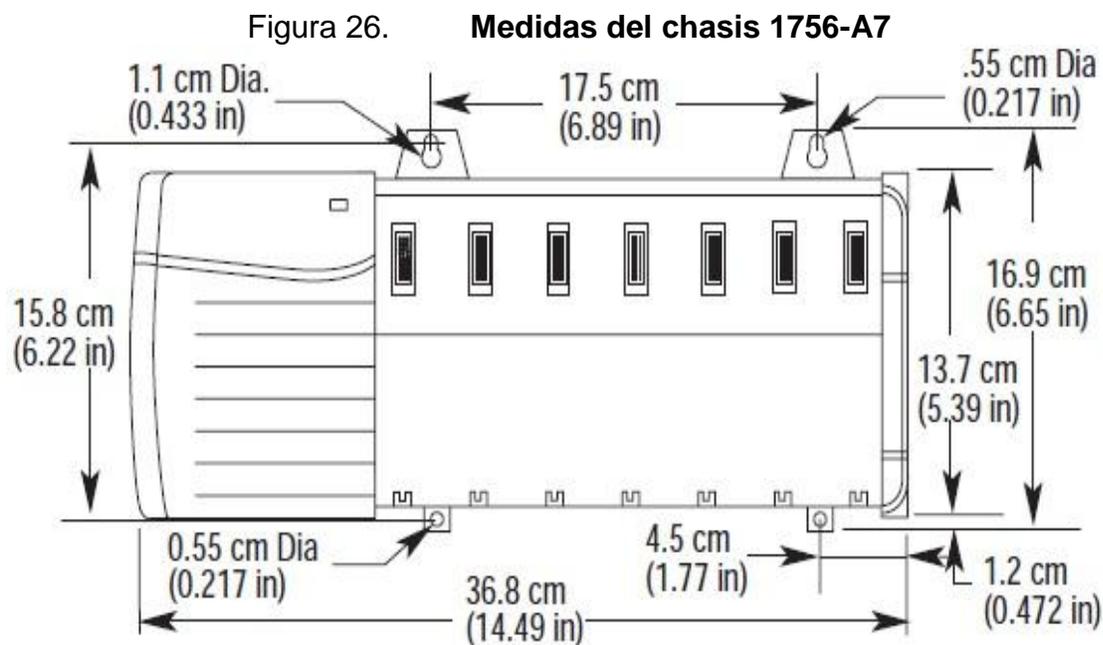
- Tocar un objeto con potencial cero antes de manejar el chasis para evitar una descarga estática
- No tocar los componentes electrónicos de la placa madre
- No tocar los componentes electrónicos de la fuente de voltaje
- Utilizar una pulsera electroestática
- Cuando no se utilice la fuente, mantenerla dentro del empaque protector

El chasis debe cumplir con los estándares de compatibilidad electromagnética (EMC) siguiendo las directrices de construcción de estándares

internacionales para uso en ambientes industriales. Para mayor información consultar la siguiente documentación:

- EN 50081-2 EMC – Generic Emission Standard, Part 2 – Industrial Environment
- EN 50082-2 EMC – Generic Immunity Standard, Part 2 – Industrial Environment

Para el montaje del chasis se debe contar con suficiente espacio para el montaje, las medidas del chasis 1756-A7 se muestran en la figura 26:



Fuente: ab.rockwellautomation.com. Consulta: junio de 2011.

El chasis y el controlador deben ir debidamente protegidos para ambientes industriales; para el presente proyecto es necesario tener una protección IP66. IP66 es un código para clasificar el índice de protección.

El índice de protección es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional 60529 que clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra la intrusión de objetos sólidos o polvo, contactos accidentales o agua. Dentro del ambiente en donde se instalará el controlador es un ambiente que estará expuesto a pequeñas partículas o polvo fino y a fuentes de agua, por lo tanto es necesario tener una protección IP66.

Para lograr tener una protección IP66 es necesario adquirir un armario que cumpla con los estándares de IP66; para este caso se utilizará un armario Himel IP66 que cuente con suficiente espacio.

Un factor importante de la instalación del chasis del controlador es el aterrizaje del chasis, se debe contar con un bus de aterrizaje ya que esto reduce la resistencia eléctrica en la conexión. El chasis cuenta con un tornillo que regularmente está pintado de verde. Para el aterrizaje del equipo se debe evitar el uso de empalmes, ya que esto aumenta la resistencia eléctrica; es recomendable utilizar terminales tipo anillo y un calibre de cable 8AWG (ver figura 27).

Se debe identificar el área de montaje del chasis. El chasis 1756-A7 es posible montarlo dentro de un área de clase I, división 2, grupos A,B,C,D, o áreas no peligrosas.

Una vez el montaje del chasis esté hecho, se debe montar el controlador 1756-L61 y las dos tarjetas de red 1756-ENBT, siempre siguiendo las precauciones de descargas electrostáticas y con los interruptores automáticos Q1 y Q2, que se muestran en la figura 27.

5.2. Instalación de los *racks* remotos

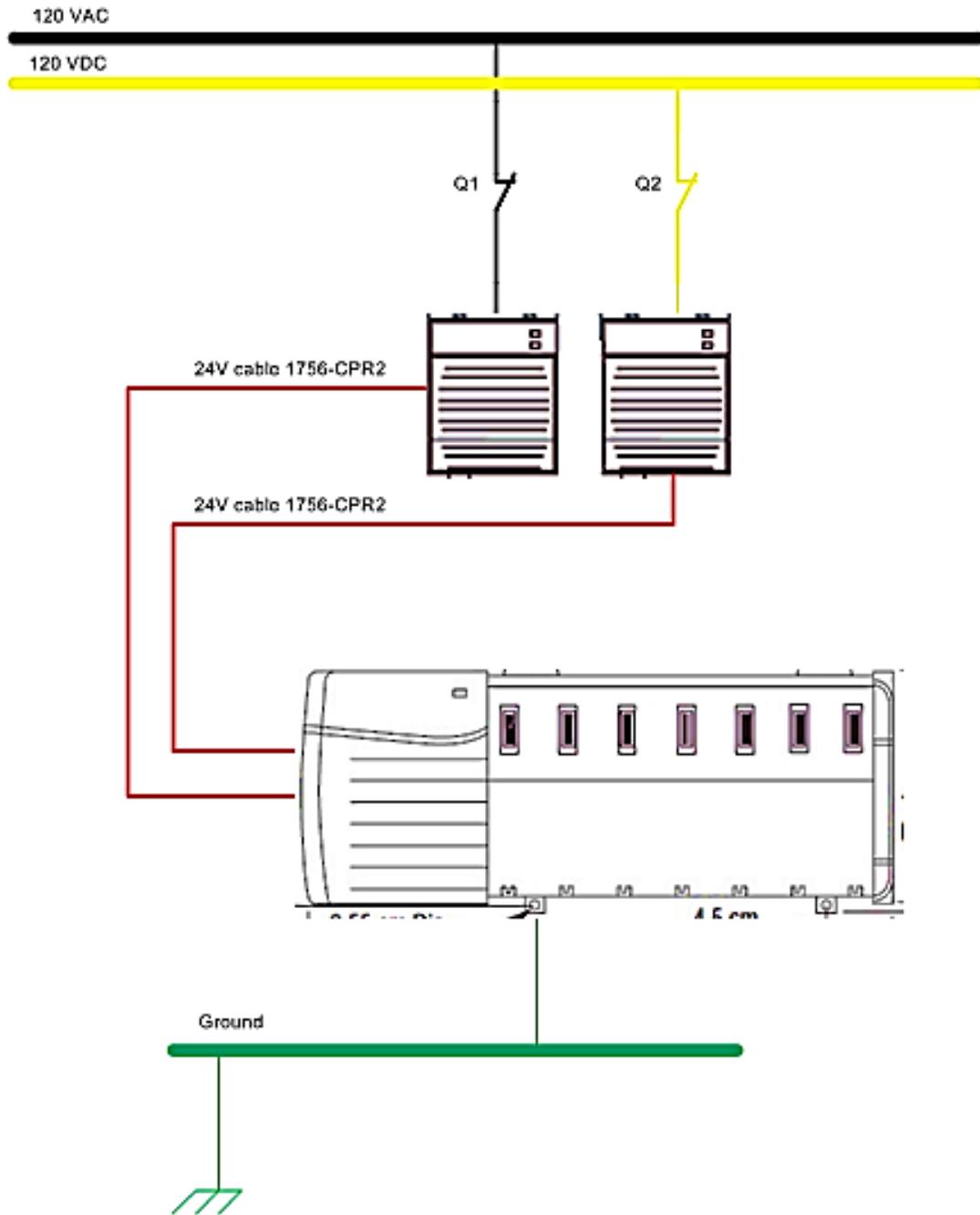
Para este trabajo se utilizarán tres *racks* remotos, dos de ellos irán montados dentro de un mismo armario y el tercero se montará lo más cercano posible a los instrumentos. El tercero debe ir lo más cerca posible porque este contendrá módulos especializados 1794-IR8 que reciben las señales provenientes de los sensores de temperatura PT100 o RTD's que utilizan la variación en resistencia por el efecto térmico sobre ellas para proporcionar la temperatura, por lo tanto la resistencia de los conductores debe ser mínima para no influir en las mediciones; en la sección 2.4 se explica con más detalle este fenómeno físico.

Para la protección de los *racks* de I/Os, se utilizará armarios Himel con protección IP66. Los módulos del sistema FLEX™ I/O requiere riel DIN para el montaje, el riel DIN es un riel metálico estándar utilizado para el montaje de equipos de control industriales de 35 mm x 7.5 mm.

Las ilustraciones 28 y 29 muestran con más detalle el montaje dentro de los *racks* remotos. Se deben montar canaletas plásticas alrededor de los módulos para organizar y proteger el cableado eléctrico.

Es necesario proteger los canales de los módulos, los módulos en sí y los instrumentos; para esto se utilizan borneras con fusibles, estos deben ser de acción rápida por sobrecorriente, regularmente están en el rango de 0.1 a 0.5 A, o dependiendo del instrumento que se debe alimentar.

Figura 27. Alimentación de voltaje redundante y aterrizaje de chasis

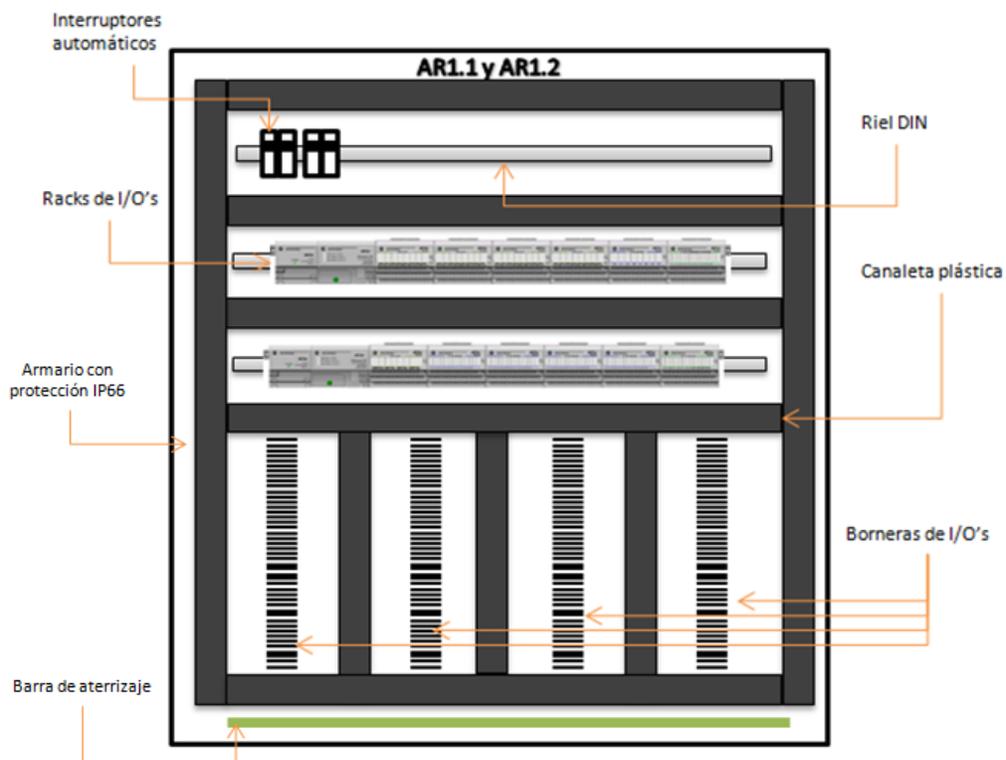


Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

La barra de conexión a tierra es muy importante, todos los instrumentos deben estar conectados a la barra de aterrizaje, se puede ver la barra en las ilustraciones 28 y 29 de color verde. El blindaje de los instrumentos debe conectarse solo de un extremo; si el área es muy ruidosa desde el punto de vista electromagnético se debe conectar de los dos extremos, pero debe ser una conexión a tierra de alta calidad.

Una vez realizado el montaje se debe hacer el cableado eléctrico, se debe utilizar una alimentación de voltaje de 120 VAC conectado directamente al módulo 1794-PS13, y de la fuente modular se distribuye hacia todos los módulos. La figura 30 muestra el cableado eléctrico del *rack* AR1.1 y AR1.2.

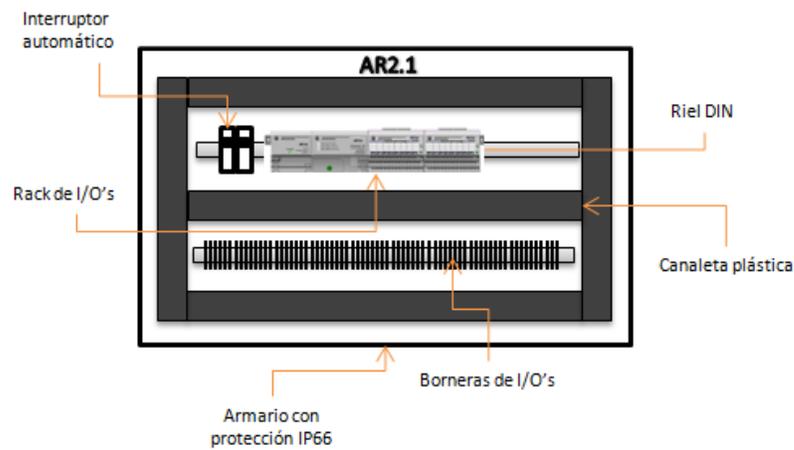
Figura 28. **Racks remotos AR1.1 y AR1.2**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

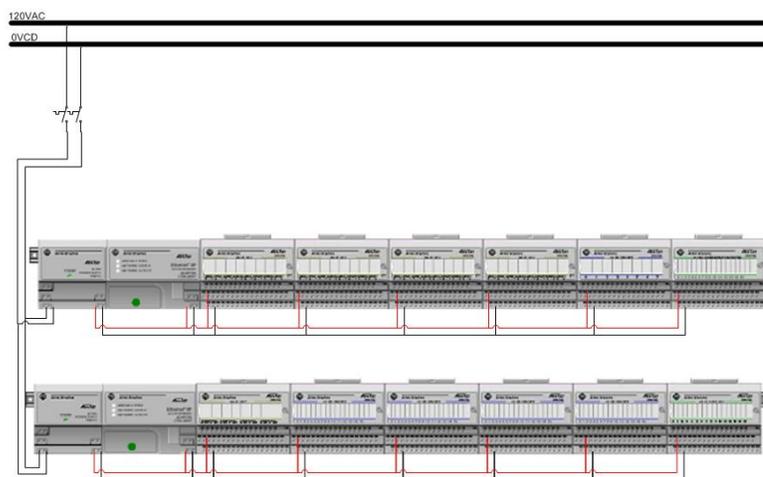
Para realizar el cableado de los módulos FLEX™ I/O hacia los instrumentos, se debe consultar las especificaciones de conexión de cada uno de los módulos, ya que las conexiones no son iguales para todos.

Figura 29. **Rack remote AR2.1**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

Figura 30. **Alimentación de voltaje de racks remotos**



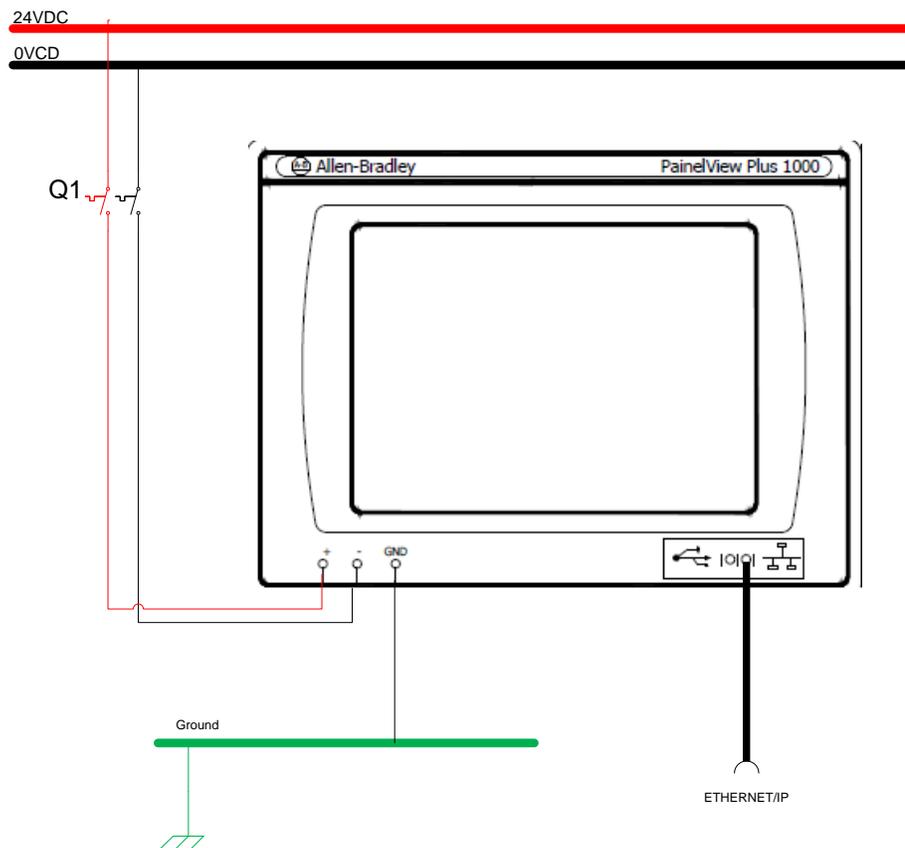
Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

5.3. Montaje de PanelView

El montaje del PanelView Plus 1000 a utilizar en el presente proyecto es simple, se necesita una alimentación de voltaje de 24 VDC y un punto de red Ethernet/IP. La figura 31 muestra las conexiones.

La pantalla LCD a color y táctil que permite un fácil acceso a todas las variables de control, el área total del display es de 211 x 158 mm con una resolución de 640 x 480 pixeles, colores de 18 bit, una memoria RAM de 512 MB y un voltaje de alimentación de 24 VCD.

Figura 31. Conexiones de PanelView Plus 1000



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

5.4. Red Ethernet/IP

Ethernet/IP es un protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial. Basado en los protocolos estándar TCP/IP, utiliza los ya bastante conocidos *hardware* y *software* Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial. Ethernet/IP clasifica los nodos de acuerdo con los tipos de dispositivos preestablecidos, con sus actuaciones específicas. El protocolo de red Ethernet/IP está basado en el Protocolo de Control e Información (Control and Information Protocol – CIP) utilizado en DeviceNet™ y ControlNet™. Basados en esos protocolos, Ethernet/IP ofrece un sistema integrado completo desde la planta industrial hasta la red central de la empresa.

Ethernet/IP utiliza todos los protocolos del Ethernet tradicional, incluso el Protocolo de Control de Transmisión (TCP), el Protocolo de Internet (IP) y las tecnologías de acceso mediático y señalización, disponibles en todas las tarjetas de interfaz de red (NIC's) Ethernet.

Los productos tradicionales de conectividad vienen ofreciendo a los usuarios años de uso en ambientes típicos de oficina. Sin embargo, los mismos conectores a base de cobre o fibra, expuestos en condiciones más severas de polvo, temperatura, humedad, interferencia electromagnéticas o vibraciones, ya son otra cosa. Su desempeño y la seguridad que puedan ofrecer seguramente se verán perjudicados.

En ambientes agresivos, en los que la exposición a algunos de estos elementos es una constante, los enlaces normales de conexión Ethernet se pueden corroer, desgastar, atascar con residuos y muy posiblemente, fallar.

5.4.1. Aspectos fundamentales de la conexión en red TCP/IP

Ethernet es una red de área local con una velocidad de comunicación de banda base de 10 M bits/s diseñada para el intercambio de información de alta velocidad entre computadoras y dispositivos relacionados.

En el nivel más básico, Ethernet es un cable que se conecta a una serie de computadoras o dispositivos periféricos, de manera que puedan comunicarse unos a otros. El cable usado para una red se llama el medio de la red.

Para el presente trabajo se utilizará el estándar IEEE 10baseT que utiliza un cable de par trenzado. Con el estándar IEEE 10baseT es posible conectar un nodo cada 100 metros.

La topología a utilizar será de tipo estrella o radial, en donde todos los nodos están unidos en un solo punto y pueden ser controlados por ese nodo central. Para la interconexión de la red de campo a la red de supervisión se utiliza un *switch* Stratix 8000 conectado por medio de fibra óptica hacia un *switch* Hirschman el cual se conecta a la red de supervisión general.

La Organización de Estándares Internacionales (ISO) ha desarrollado un modelo de conexión en red llamado Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) para proporcionar una estructura común alrededor de la cual se construyen nuevos estándares de protocolo.

La capa física y la capa de red de datos hacen la capa Ethernet. Este es el cable físico y el método de acceso para usar el cable.

La capa de red o IP maneja el routing (encaminamiento) y conversión de datos entre dos entidades conectadas en red; la capa de transporte o TCP maneja la integridad de los datos, la transmisión sin errores de paquetes de información. TCP divide los paquetes en tamaños aceptables para el transporte y los coloca juntos otra vez cuando llegan a su destino.

A la capa de sesión y a la capa de presentación se les denomina las capas de “*pass-through*” puesto que no se implementan específicamente en una red TCP/IP.

La séptima capa del modelo de referencia ISO/OSI es la capa de aplicación, la cual incluye la interfaz de programación y el *software* de aplicación. Esta capa controla funciones tales como la transferencia de archivos. Emulación de terminal, y correo electrónico. Proporciona la interfaz de usuario y la interfaz de programación de aplicación a las aplicaciones de red.

Un protocolo consta de mensajes intercambiados entre servicios en la misma capa y las reglas que gobiernan estos intercambios de mensajes.

El control de acceso determina “quién habla y cuándo”. La capa de red de datos, capa 2 del modelo de referencia ISO/OSI, maneja el control de acceso.

Ethernet usa Acceso múltiple detector de portadora con Detección de colisiones (CSMA/CD) como método de acceso. Los dispositivos en la red Ethernet pueden detectar si el canal está ocupado y mantener sus transmisiones hasta que esté disponible. Estos dispositivos pueden monitorizar el canal durante la transmisión para determinar si otras estaciones están intentando transmitir simultáneamente. Esto resulta en una colisión. Después de

una colisión, cada nodo espera un momento de duración aleatoria antes de transmitir otra vez.

El Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet (TCP/IP) es un protocolo de capa de transporte (TCP) y un protocolo de capa de red (IP), generalmente usado para comunicarse al interior de las redes y entre redes.

5.4.2. Montaje de los *switch* administrables Stratix 8000

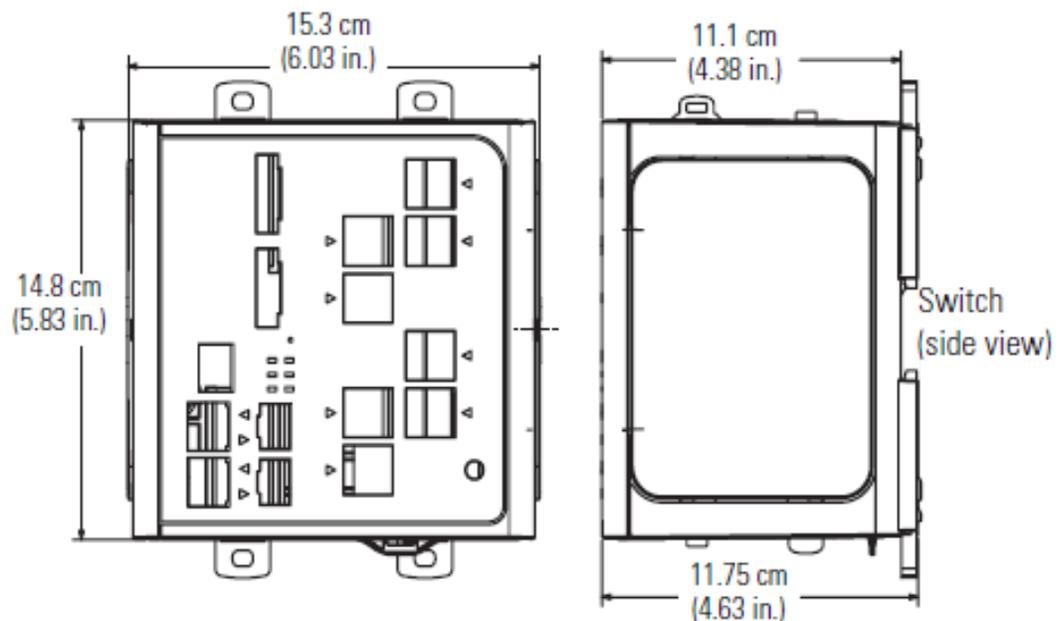
Antes de realizar el montaje de los *Switch* Stratix 8000 en donde se montarán, se debe verificar lo siguiente:

- Que las condiciones de operación ambientales estén dentro de los rangos especificados en el manual del usuario.
- Debe haber espacio suficiente para un fácil acceso.
- Flujo de aire alrededor del *switch* para prevenir sobrecalentamientos.
- La temperatura alrededor del *switch* no debe exceder a 60°C. Debe tener presente que la temperatura dentro del armario protector es superior al exterior.
- El cableado eléctrico debe estar lejos de fuentes que produzcan ruido eléctrico, como radios, líneas de potencia y fuentes de luz fluorescentes.
- Se debe aterrizar usando un bus de aterrizaje o un riel DIN aterrizado. Las dimensiones del *Switch* Stratix 8000 se detallan en la figura 32.

Una vez montado el *Switch Stratix 8000*, se deben insertar, si es necesario, los módulos SFP (Small Form-factor Pluggable) es un transceptor óptico utilizado para aplicaciones en telecomunicaciones y comunicación de datos. Es la interfaz entre el dispositivo madre y la fibra óptica.

Se debe tener precaución al instalar este tipo de dispositivos ya que son sensibles a descargas electroestáticas, siempre se debe utilizar una pulsera conectada a tierra para evitar una descarga electrostática. El montaje del módulo SPF se muestra en la figura 33, solo debe insertarlo en la dirección correcta y empujarlo hasta que se escuche un clic.

Figura 32. **Dimensiones de *Switch Stratix 8000***

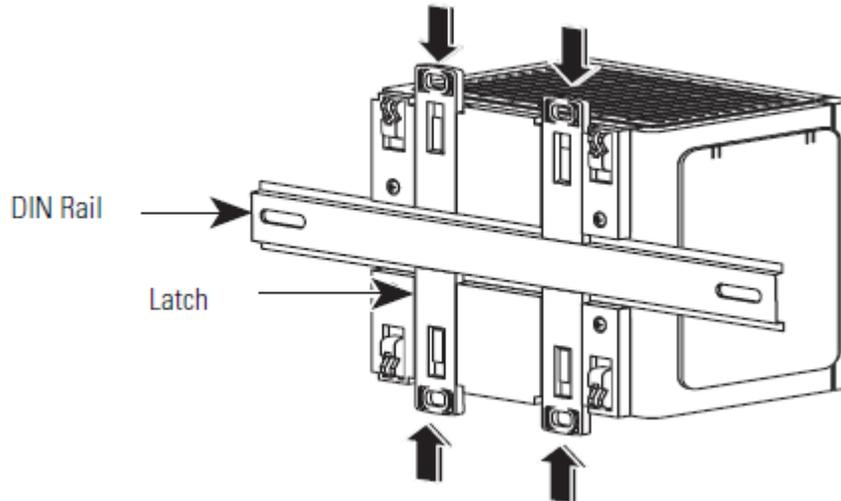


Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: marzo de 2011.

El *Switch Stratix 8000* se monta sobre un riel DIN, como se ilustra en la figura 33.

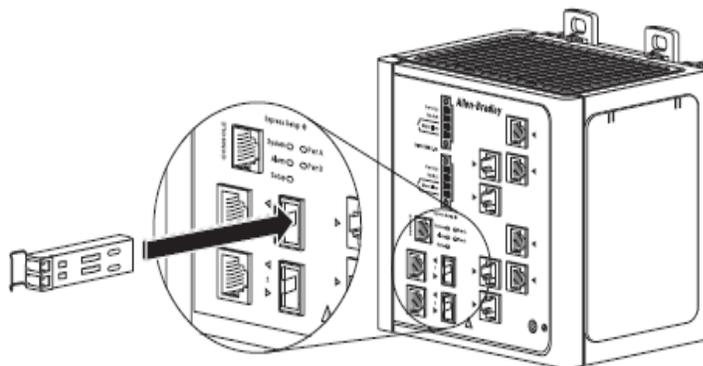
Al igual que todos los equipos electrónicos, los *Switch Stratix 8000* deben conectarse al bus de aterrizaje.

Figura 33. **Montaje de *Switch Stratix 8000* sobre Riel DIN**



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: marzo de 2011.

Figura 34. **Montaje de módulo SPF**

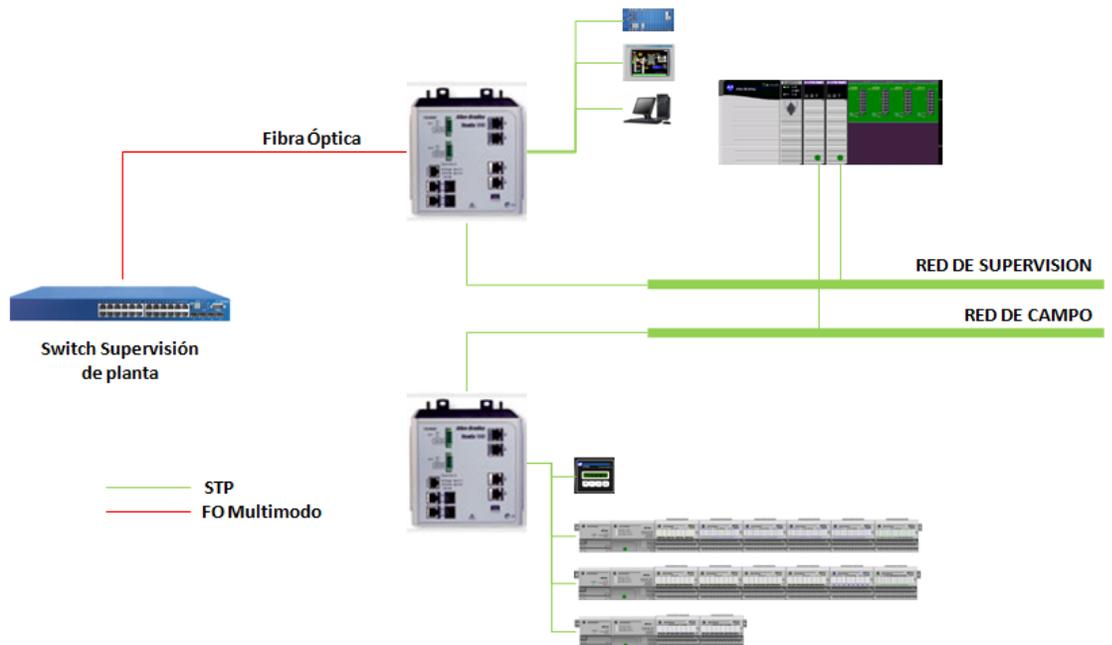


Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: marzo 2011.

La alimentación de voltaje debe ser de 24VCD; previamente a conectar se debe estar seguro que no se encuentran energizados los cables; una vez realizadas las conexiones se debe energizar el *Switch*.

En total se instalarán dos *Switch* Stratix 8000, para poder comunicar todos los equipos de campo y de supervisión. En la sección 8.2 se ilustra un diagrama de red y control que incluye la arquitectura de red a implementar.

Figura 35. Topología de red



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

La figura 35 muestra el uso de los *Switch* Stratix 8000; uno de los *Switch* se utilizará para comunicar a todos los equipos de campo y el otro para los equipos de supervisión; una vez los equipos hayan sido conectados a la red de supervisión, será posible supervisar las variables desde cualquier punto de la planta o incluso fuera de la planta.

5.4.3. Cableado estructurado

Una instalación de cableado estructurado incluye los cables, como soporte físico para la transmisión de datos, y todos los elementos (tomas, paneles, concentradores, etc.) que permiten conectar los dispositivos de red. Antes de describir la estructura del cableado estructurado, se revisarán algunos conceptos básicos.

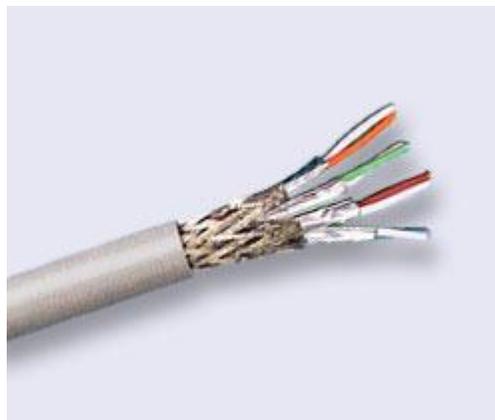
- **Categoría:** en el lenguaje de redes y transmisión de datos, es habitual encontrarse la denominación de categoría. Los cables o elementos de red están diseñados para trabajar en una categoría determinada. La categoría utilizada en Ethernet/IP dentro de nuestro proyecto es categoría 5 que permite una velocidad de datos de hasta 1000Mbps.
- **Cables de par trenzado:** los sistemas de cableado estructurado solamente utilizan cables de pares trenzados STP o FTP. Los cables de par trenzado UTP son conductores no blindados que se utilizan en comunicaciones, se encuentran normalizados de acuerdo con la norma estadounidense TIA/EIA-568-B y a la internacional ISO/IEC 11801. Cada par de cables es un conjunto de dos conductores aislados con un recubrimiento plástico. Este par se retuerce para que las señales transportadas por ambos conductores (de la misma magnitud y sentido contrario) no generen diferencias ni resulten sensibles a emisiones. La u de UTP indica que este cable es sin blindaje o no blindado. Esto quiere decir que este cable no incorpora ninguna malla metálica que rodee ninguno de sus elementos ni el cable mismo.

En la aplicación a desarrollar se utilizará un cable de par trenzado CAT5 FTP, que difiere con el UTP en que es un tipo de cable que cuenta

con malla de blindaje que cuenta con una lámina externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del conjunto de pares, diseñada para la absorción del ruido eléctrico.

El cable UTP o STP emplea conectores denominados RJ45 (*registered jack 45*) de 8 pines. Es una interfaz física usada para conectar redes de cableado estructurado. Es parte del Código Federal de Regulaciones de Estados Unidos. Posee 8 pines.

Figura 36. **Cable STP**



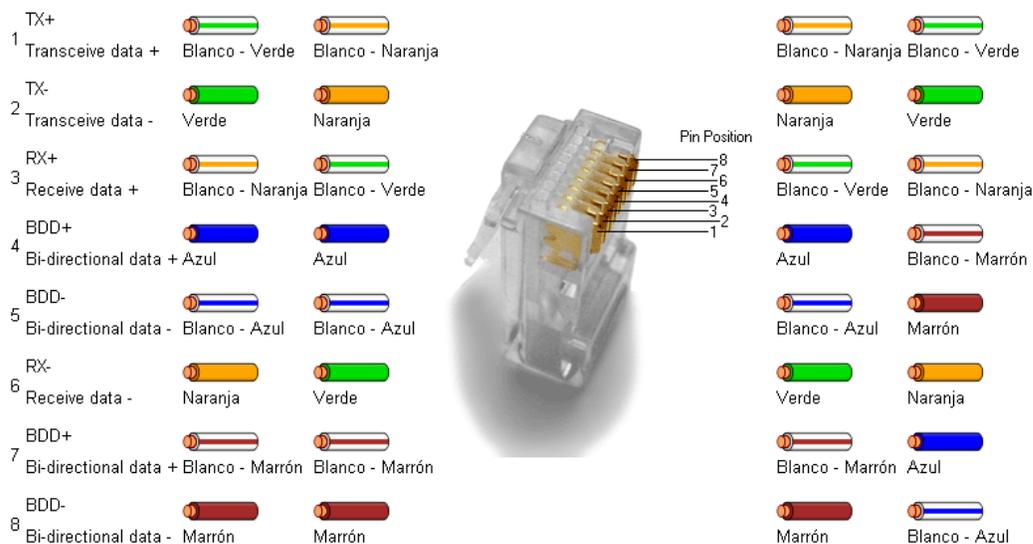
Fuente: BELDEN. Catálogo de productos 2011. Consulta: marzo de 2011.

La figura 37 describe la conexión en los conectores RJ45. Para que todos los cables funcionen en cualquier red, se sigue un estándar a la hora de hacer las conexiones.

Para la conexión existen dos normas, la norma A y la norma B, la norma A se muestra en la figura 37 en la segunda columna y la norma B en la tercera columna. Para el proyecto se utilizará de forma general la norma A.

- Fibra óptica multimodo: una fibra óptica multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km. El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Figura 37. Conexiones eléctricas para conectores RJ45



Fuente: Aaron Kaase, es.wikipedia.org. Consulta: junio de 2011.

Los conectores de FO se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, puede ser un transmisor o un receptor. Los tipos de conectores son muy variados, para este proyecto se utilizarán conectores SC y conectores ST.

Figura 38. **Conectores para fibra óptica SC y ST**



Fuente: Voz y Dato, www.vozydato.com. Consulta: junio de 2011.

- Topología: la topología a utilizar es de tipo estrella, en la figura 35 se muestra la topología de red. La topología de tipo estrella, es en donde los *switch* se conectan en forma de bus y a cada uno de ellos se conectan varios puntos de red, como puede verse en la figura 35, para este proyecto solo se está utilizando una parte de la topología, atrás del “*switch* supervisión de planta” puede haber muchos más *switch* conectados en bus, por medio de cobre o fibra óptica.
- *Switches*: los *switchs* o *hubs* son los elementos activos del cableado estructurado. Opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes, pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red. Los *switch* se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un filtro en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las LANs.
- *Rack* o bastidor: el bastidor es una estructura metálica que permite la fijación de los paneles de parcheo y los *switchs*. Para este proyecto se utiliza un bastidor metálico cerrado tipo armario.

- Panel de parcheo: los paneles de parcheo, conocidos como “*patch panels*” son elementos pasivos que permiten centralizar y flexibilizar el conexionado de diferentes partes de la instalación. Permiten organizar el conexionado de los diferentes equipos que participan en la red. Se montan entre los *switchs* y las tomas de conexión que van hacia los equipos o puestos de trabajo. Se instalan sobre *racks* y bastidores en los que también suelen encontrarse los *switchs*.

El ambiente en donde se realizarán todas las instalaciones es un ambiente Industrial; por tal motivo el cableado debe protegerse de ambientes corrosivos, humedad, polvo, interferencias electromagnéticas, etc.

Para la protección del cable STP se utiliza tubería metálica llamada *conduit*. Para el cableado de la fibra óptica se utilizará tubería plástica PVC; se utilizará este tipo de tubería ya que tiene un mayor tiempo de vida en ambientes corrosivos, además de esto, los datos se transportan por medio de luz y no se ven afectados por las interferencias electromagnéticas (EMI, *Electromagnetic Interference*). Por interferencia electromagnética se entiende la presencia de voltajes o corriente no deseados que pueden aparecer en un equipo o en sus circuitos, como resultado de la operación de otro equipo eléctrico, o por fenómenos naturales.

Las rutas a elegir para el cableado del par trenzado STP deben ser lo más cortas posibles y por lugares seguros, ya que esto ahorrará la cantidad de materiales a utilizar y evitará que se dañen accidentalmente. Al igual que el cableado del par trenzado, el cableado de la fibra óptica debe hacerse con las precauciones debidas, ya que las fibras se pueden romper o quebrar fácilmente cuando se curva demasiado; se debe evitar cruces con ángulos rectos y se recomienda utilizar vueltas para este tipo de cableado.

Los conectores RJ45 se utilizan para el cable de par trenzado; para esto es necesaria una herramienta conocida por los técnicos como “ponchadora”; es un procedimiento sencillo que lo puede realizar un técnico capacitado. Se debe seguir el estándar descrito en la figura 37, con el estándar tipo A.

Para conexión de los conectores de fibra óptica, es necesario un equipo especializado y un técnico acreditado para realizar el trabajo; por tal motivo este trabajo lo debe realizar un técnico con equipo especial. Si la cantidad de conexiones es mínima, es recomendable emplear un tercero para realizar el trabajo; esto reduce los costos de instalación, para el presente proyecto solo se utilizarán 2 puntos de conexión, por tal motivo no es económicamente rentable la compra de equipos y los costos de un técnico capacitado.

5.5. Instalación de la instrumentación

El montaje de la instrumentación es una de las etapas más complicadas de proyectos de este tipo, ya que se debe tener un amplio conocimiento técnico respecto de materiales y técnicas de manejo de tuberías.

El diseño de la turbina trae incorporadas las tomas primarias de los sensores de temperatura, presión, vibración, velocidad, nivel y fase, desde fábrica; por lo que no es necesario hacer modificación alguna en el diseño de la turbina.

Se debe tener en cuenta una serie de prácticas y procedimientos, entre los que se pueden citar como más importantes, los que se mencionan a continuación:

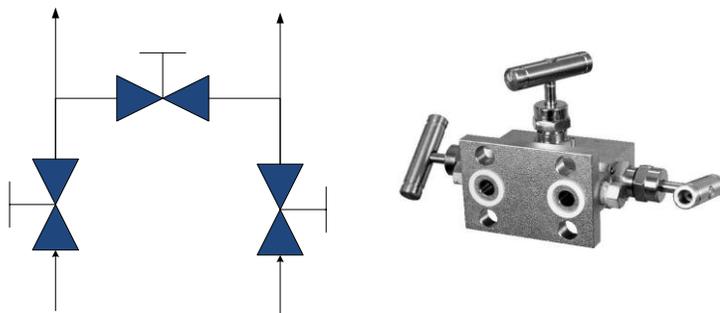
- Es conveniente utilizar tubería de ½ pulgada, con el espesor adecuado en función de la presión y temperatura del producto.
- Los tramos de tubería de las conexiones primarias deben ser lo más cortos que sea posible, evitando longitudes superiores a 15 m
- Se recomienda instalar las tuberías con una pendiente mínima del 6% en la dirección adecuada, evitando puntos altos en líquidos y puntos bajos en gases o sellos de líquido, respectivamente.
- Deben instalarse válvulas de bloqueo junto a las tomas primarias para dejar fuera de servicio las línea de conexión a los instrumentos cuando sea necesario. Cuando la distancia entre las tomas primarias y el transmisor sea relativamente larga, o las tomas primarias se encuentran en posición inaccesible, es necesario instalar otro juego de válvulas junto al transmisor.
- Las tomas para los instrumentos de caudal se suelen situar a 45° respecto de la horizontal. De esta forma se pueden colocar unas tuberías de proceso junto a otras. En algunas aplicaciones se colocan tomas de proceso horizontales.
- En el caso de transmisores de presión diferencial es necesario instalar una tercera válvula para igualar las presiones durante la puesta en servicio del instrumento o para calibrar el punto cero del transmisor. El conjunto de las dos válvulas de bloqueo más la de igualación de presión, forman un conjunto denominado *manifold*, el cual suele estar construido en forma de bloque y adosado al propio transmisor.

- Si los fluidos a medir contienen sólidos en suspensión, es necesario instalar válvulas de purga, abriéndolas periódicamente para evitar que los sólidos lleguen al transmisor.
- Cuando se van a medir líquidos corrosivos, altamente volátiles o viscosos, es conveniente utilizar *potes* de sello para evitar que el fluido pase a las líneas de conexión y al propio transmisor.

La figura 39 muestra un *manifold* construido en un bloque con conexiones para tubería y el esquema equivalente.

Para reducir el error en las medidas se deben tener en cuenta una serie de circunstancias en el conexionado de los transmisores, con objeto de eliminarlas o en su defecto reducirlas al máximo. Entre ellas podemos mencionar:

Figura 39. **Manifold de 3 válvulas y esquema equivalente**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

- Fugas en los accesorios de conexión
- Gas atrapado en las líneas de conducción de líquidos
- Líquido atrapado en las líneas de conducción de los gases

- Variaciones de densidad entre las tuberías de conexasión de alta y baja presión al transmisor, producidos por diferencias de temperatura

En los apartados siguientes se analizará una serie de esquemas de montaje de instrumentos para temperatura, presión, nivel, caudal de vapor, vibración, velocidad, fase y algunos actuadores.

5.5.1. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura a utilizar para supervisar las variables de proceso del turbogenerador son de tipo resistivos y bimetálicos. El detalle de las variables de temperatura se lista en la sección 2.4.

Las sondas resistivas se conocen como RTD (*Resistance Temperature Detector*). Se utilizarán sensores de temperatura PT-100 que son del tipo de resistencia variable por cambio de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico. El material que forma el conductor, posee un coeficiente de temperatura de resistencia α , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura (ver ecuación 5, de la sección 2.4).

El otro tipo de sensores a utilizar serán termocoplas; estas son sensores que van montados dentro de los devanados del generador, por lo que no se tiene acceso directo a ellas. Una termocopla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.

5.5.2. RTD's y termocouplas

Para la instalación de las sondas resistivas al proceso se utilizan termopozos. Estos son elementos protectores de las sondas resistivas, estos tienen la funcionalidad de garantizar la integridad del elemento. Se utilizarán termopozos en la mayoría de las mediciones del proceso. La figura 40 muestra sensores de temperatura RTD's con su respectivo termopozo.

Para el montaje de los sensores de temperatura se debe utilizar una copla tipo NPT de ½ pulgada soldada al punto en donde se desea la medición de temperatura para fijar el termopozo al proceso.

No todas las mediciones utilizan termopozos, la medición de temperaturas de la chumacera de la turbina lado no acoplado axial interior, axial exterior y radial; no utilizan termopozo para tomar la medición; los elementos se introducen directamente dentro de la chumacera sin necesidad de termopozo.

Figura 40. **Sensores de temperatura RTD PT-100 y sus termopozos**



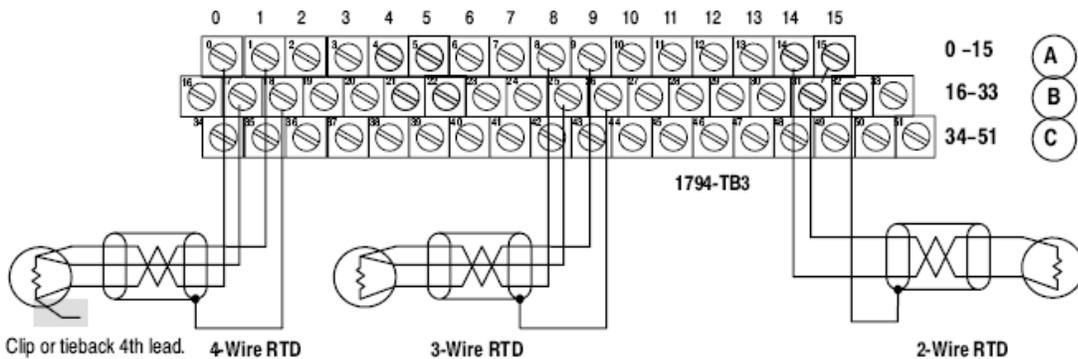
Fuente: www2.emersonprocess.com. Consulta: julio de 2011.

Una vez montado el sensor se debe instalar la turobería requerida y el cableado. El cableado debe ser lo más corto posible, en este diseño las señales

de RTD's se enviarán al *rack* remoto AR2.1 que se muestra en la figura 29; esto se hace para reducir al mínimo el error por resistencia del cable; además de esto se utiliza un cable blindado 18AWG.

La forma tradicional de medir una resistencia es utilizando un puente de *Wheastone*. Se excita el puente con un voltaje; el voltaje que pasa por el puente es proporcional a la resistencia RTD. El problema aparece cuando se incorpora la resistencia de los cables .Es evidente que cualquier resistencia en estos cables será considerada por el circuito como una resistencia adicional del elemento que se quiere medir. Para compensar este error se introdujo el puente compensado de 3 hilos. La conexión para sensores de 2, 3 y 4 hilos a los módulos RTD 1794-IR8 se ilustra en la figura 41.

Figura 41. **Conexión de RTD's a 2, 3 y 4 hilos**



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: junio de 2011.

La tabla V muestra la conexión de los diferentes sensores de temperatura a los módulos 1794-IR8 en el *rack* AR2.1; el *rack* cuenta con dos *slot* a donde llegan todas las señales de los sensores de temperatura. Los sensores que se utilizarán se conectarán a 3 hilos; esto se ilustra en la figura 41. Además de esto la tabla indica la dirección IP asignada al módulo de

cabecera 1794-AENT. En la figura 43 se ilustran los módulos que componen la AR2.1.

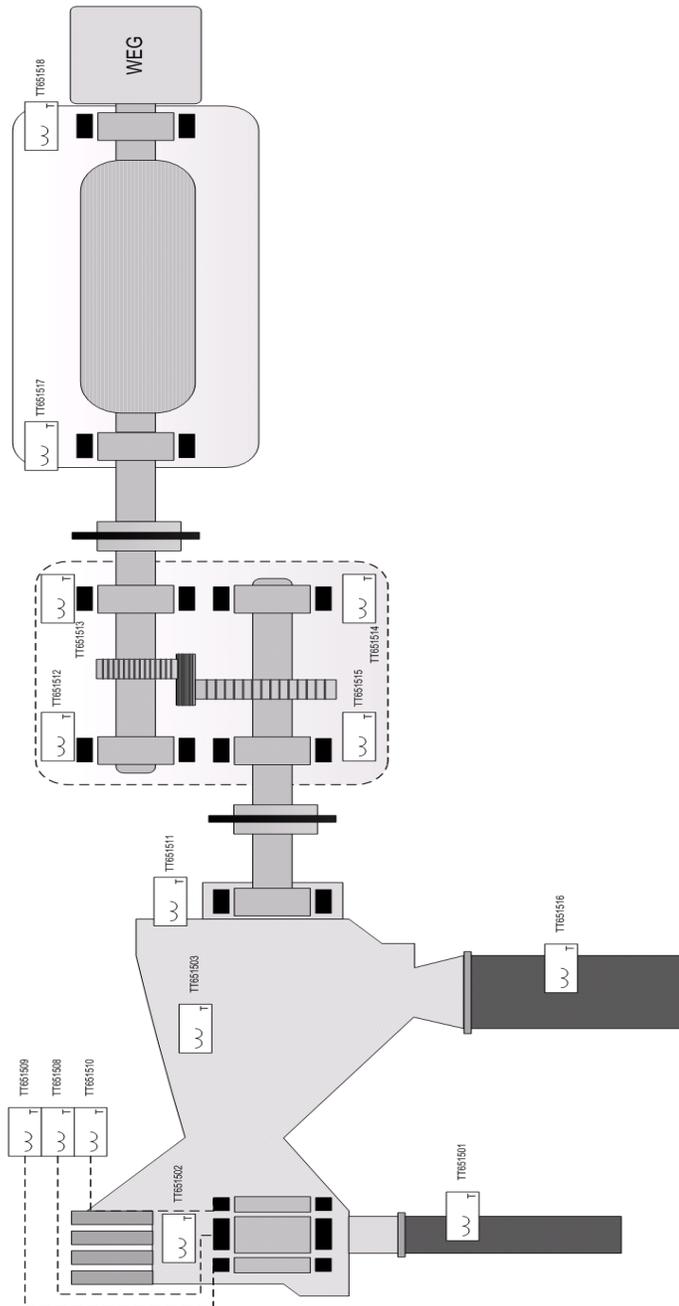
Los sensores de temperatura RTD estarán distribuidos en diferentes puntos de la turbina, incluso se instala un sensor sobre la tubería de vapor de escape que está a una distancia considerable del *rack* de temperaturas.

La conexión a cada una de las borneras se debe hacer utilizando terminales tipo pin; esto ayudará a reducir la resistencia en la conexión.

Para tener una idea de la ubicación de cada una de las variables, la figura 42 muestra el esquema de las variables de temperatura de la turbina. El esquema muestra la excitatriz, el generador, el reductor y la turbina.

Cada una de estas partes tiene un eje que gira por medio de unos cojinetes conocidos como chumaceras. La medición de temperatura en las chumaceras es crítica ya que una alta temperatura en estas podría dañar la chumacera en sí y además podría dañar alguna de las partes móviles de la turbina, por lo que es necesario supervisar estas variables y en caso de detectar una alta temperatura, se indica una alarma visual en el HMI y en caso sobrepase los límites de diseño, debe parar automáticamente el turbogenerador.

Figura 42. Esquema de mediciones de temperatura al proceso



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

Tabla VI. Elenco de señales a AR2.1

Armario: AR 2.1

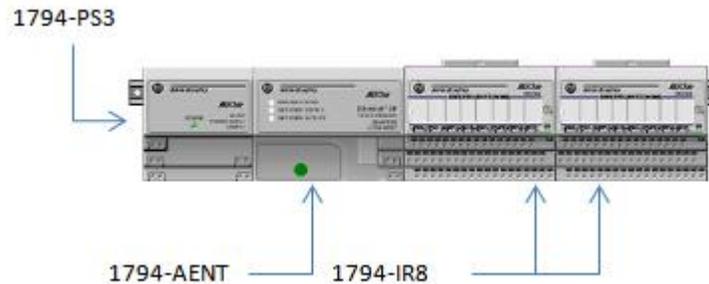
MODULO DE TERMORE SISTENCIAS				
MODULO DE E/S		SLAVE		MASTER
MODELO: 1794-IR8/A		MODELO: 1794 - AENT		MODELO: 1794-AENT
TIPO: FLEX I/O		DIRECCION IP: 10.60.1.10		SISTEMA: FLEX IO
SLOT: 0 (RTD-1A)		TAMAÑO: 4 SLOTS		
CANAL	SEÑAL	Uds	TAG	DESCRIPCION
00	RTD	°F	TT651505	Temperatura Tanque de Aceite
01	RTD	°F	TT651506	Temperatura Aceite Despues Enfriador Aceite
02	RTD	°F	TT651507	Temperatura Aceite Antes Enfriador Aceite
03	RTD	°F	TT651508	Temperatura Metal Cojinete Radial Turbina LNA
04	RTD	°F	TT651509	Temperatura Metal Cojinete Axial Exterior Turbina
05	RTD	°F	TT651510	Temperatura Metal Cojinete Axial Interior Turbina
06	RTD	°F	TT651511	Temperatura Metal Cojinete Radial Turbina LA
07	RTD	°F	TT651512	Temperatura Aceite Cojinete Reduct. Eje Alta LNA

Armario: AR 2.1

MODULO DE TERMORE SISTENCIAS				
MODULO DE E/S		SLAVE		MASTER
MODELO: 1794-IR8/A		MODELO: 1794 - AENT		MODELO: 1794-AENT
TIPO: FLEX I/O		DIRECCION IP: 10.60.1.11		SISTEMA: FLEXIO
SLOT: 1 (RTD-1B)		TAMAÑO: 4 SLOTS		
CANAL	SEÑAL	Uds	TAG	DESCRIPCION
00	RTD	°F	TT651513	Temperatura Aceite Cojinete Reduct. Eje Alta LA
01	RTD	°F	TT651514	Temperatura Aceite Cojinete Reduct. Eje Baja LNA
02	RTD	°F	TT651515	Temperatura Aceite Cojinete Reduct. Eje Baja LA
03	TC	°F	TT651504	Temperatura despúes de atemperador
04				Canal Libre
05				Canal Libre
06				Canal Libre
07				Canal Libre

Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Excel.

Figura 43. Módulos IR8, fuente de voltaje y módulo cabecera



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: junio de 2011.

No todas las temperaturas del turbogenerador se miden utilizando RTD's; también se usan termocoplas para algunas mediciones, que requieren rangos más altos de medición y que están en ambientes más hostiles.

Al igual que los sensores de temperatura RTD, las termocoplas también utilizan termopozos en algunos casos, para proteger la unión de metales; la conexión al proceso se hace utilizando una copla NPT ½" soldada al proceso y un termopozo adecuado.

5.5.3. Transmisores de presión

Una de las mediciones físicas más importantes, son las presiones. Son necesarias para controlar tanto la presión que entra a la cámara de la turbina, como la salida de presión escape, que es utilizada para el proceso.

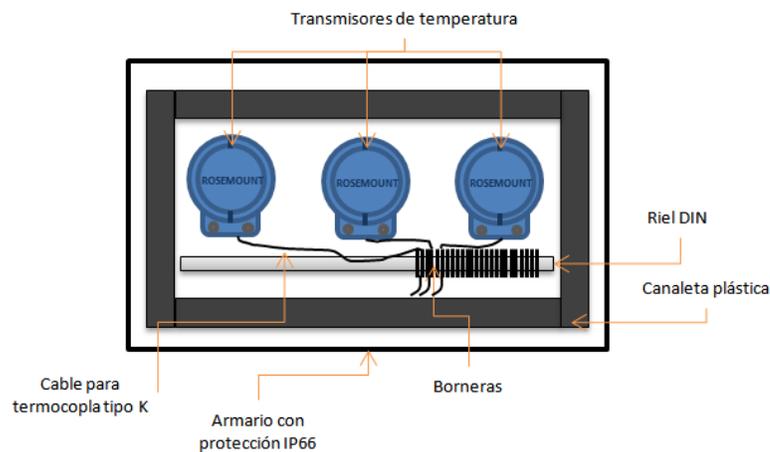
Para el turbogenerador se utilizarán transmisores de presión manométrica, los cuales medirán las diversas presiones que se describen en la sección 2.4. Los transmisores de presión son dispositivos electrónicos que convierten la presión física en una corriente eléctrica de 4 mA a 20 mA; las señales eléctricas van cableadas hacia un módulo de entradas análogas, en donde se procesan y son enviadas al controlador.

Para el montaje de los sensores de presión se debe utilizar una copla tipo NPT de ½ pulgada soldada al punto en donde se desea la medición de presión para fijar el transmisor al proceso.

Se utilizarán transmisores de presión con conexión a dos hilos, estos no necesitan una fuente externa de voltaje para poder funcionar, el voltaje en DC va implícito en la señal de corriente; además, estos transmisores de presión

tienen un protocolo de comunicación llamado HART[®], el protocolo de comunicación HART[®] (Transductor Remoto Direccionado de Alta Velocidad, por sus siglas en inglés) fue introducido por primera vez por la compañía Rosemount Inc. en 1986 como un estándar de diseño exclusivo para la comunicación de transmisores.

Figura 44. **Transmisores de temperatura dentro de armario IP66**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

En la actualidad la mayoría de fabricantes de transmisores para la industria utilizan el protocolo HART[®]. El protocolo está regulado en el presente y puede adquirirse en la HART Communication Foundation (HCF), un consorcio de proveedores y usuarios HART[®] (si se desea más información al respecto puede ingresar a la página web de HCF: www.hartcomm.org).

Además de los transmisores de presión manométrica, se utilizará un transmisor de presión diferencial, el cual sirve para medir el nivel del tanque de aceite y la diferencia de presión en el filtro de aceite. Este mismo principio de

medición de presión diferencial es utilizado en la mayoría de los filtros de muchos equipos; el ejemplo más simple es el filtro de un vehículo, en el momento que se enciende la luz de alarma de aceite, puede ser por el nivel de aceite o porque el filtro se encuentra sucio; entre más sucio esté el filtro la presión de entrada diferirá en mayor medida a la presión de salida, lo que significa que el filtro está sucio y debe ser reemplazado por uno nuevo.

En la sección 2.4 se describe el funcionamiento del transmisor de nivel diferencial. La diferencia con el transmisor de presión manométrica, es que este tiene dos tomas de presión, cada una de estas tomas de presión se colocan en lugares distintos, en el caso del filtro de aceite, una toma va antes del filtro y la otra toma de presión va después del filtro. Para el caso de medición de nivel, una de las tomas de presión se instala en la parte inferior del tanque y la otra en la parte superior; el transmisor da una medida de diferencia de presión entre los dos puntos y esta está directamente relacionada con el nivel físico del tanque.

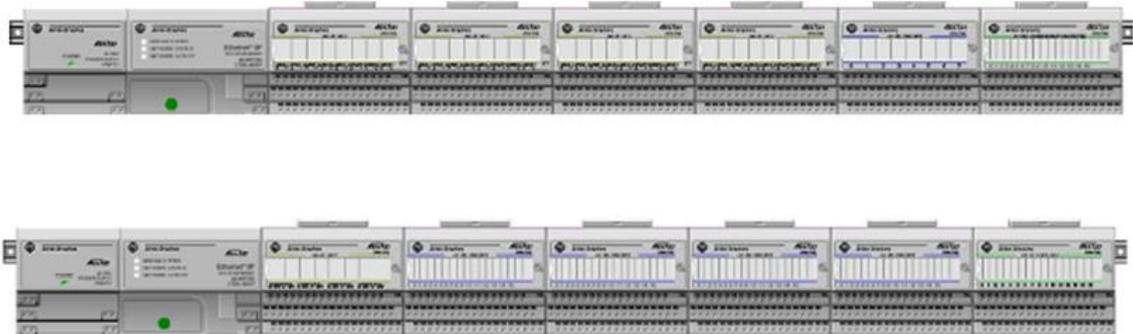
Tabla VII. **Elenco de señales AR 21.11, señales de presión**

MODULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS			SITUACIÓN: Turbo de escape 40MW		
MODULO DE E/S		SLAVE		MASTER	
MODELO: A&B 1794 IE 8		MODELO: 1794 - AENT		MODELO:	
TIPO: FLEX I/O, 8 AIN		DIRECCION IP: 000.000.00		SISTEMA:	
SLOT: 0 (LAIN-1A)		TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A	
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCION
00	4/20 mA	0 - 1800	psig	PT651501	Presión de entrada de vapor
01	4/20 mA	0 - 50	psig	PT651502	Presión de vapor de escape
02	4/20 mA	0 - 1200	psig	PT651503	Presión de vapor en cámara de rueda
03	4/20 mA	0 - 114	psig	PT651504	Presión de aceite P3
04	4/20 mA	0 - 228	psig	PT651505	Presión de aceite P1
05	4/20 mA	0 - 29	psig	PT651506	Presión diferencial filtro de aceite
06	4/20 mA	0 - 116	psig	PT651507	Presión de aceite de lubricación general
07	4/20 mA	0 - 3413	psig	PT651508	Presión de aceite de elevación del rotor

Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Excel

La tabla VI muestra la conexión de los diferentes transmisores de presión a los módulos 1794-IE8 en el *rack* superior AR1.1, el *rack* cuenta con seis *slot* a donde llegan todas las señales de los sensores de temperatura. Los sensores que se utilizarán, se conectarán a 2 hilos. En la figura 45 se ilustran los *Racks* AR1.1 y AR1.2.

Figura 45. **Rack remotos AR1.1 y AR1.2**



Fuente: www.rockwellautomation.com. Consulta: junio de 2011.

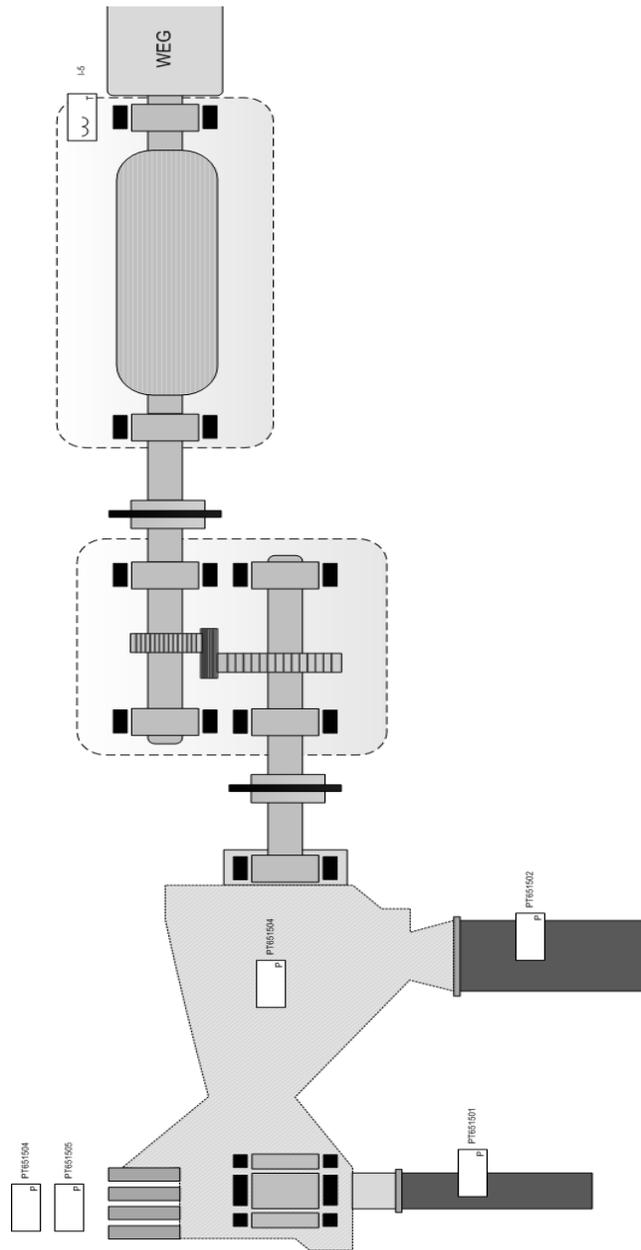
La figura 46 muestra un transmisor de presión marca Rosemount®; la figura 47 da a conocer el esquema algunas de las mediciones de presión.

Figura 46. **Transmisor de presión Rosemount**



Fuente: www2.emersonprocess.com. Consulta: junio de 2011.

Figura 47. Esquema de mediciones de presión del proceso



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

Una vez montado el sensor se debe instalar la tubería requerida y el cableado. El cableado debe ser lo más corto posible; en este diseño las señales de presión se enviarán al *rack* remoto AR1.1 que se muestra en la figura 29, se utiliza un cable blindado 18AWG.

5.5.4. Switch de presión (presostato)

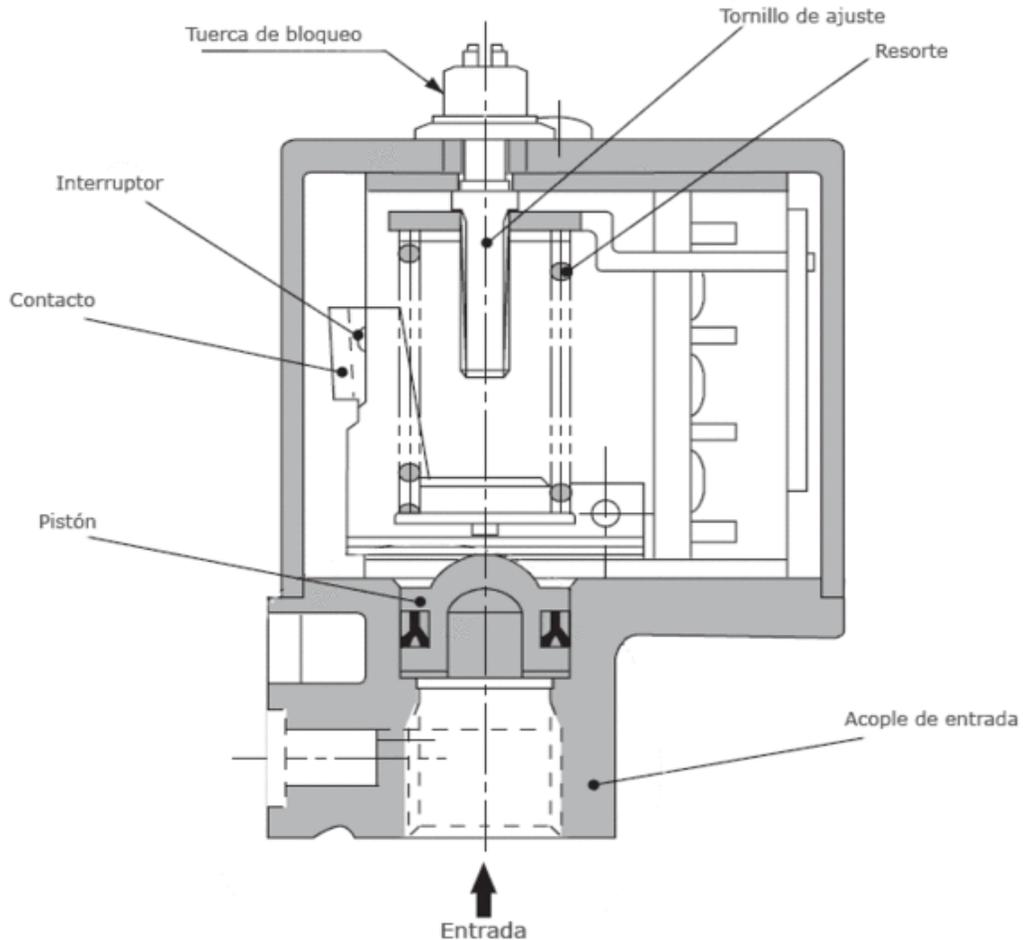
El *switch* de presión o presostato es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico, dependiendo de la lectura de presión de un fluido. El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja, un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la de apagado.

Los *switch* de presión serán utilizados como dispositivos de paro de emergencia; estos, al detectar una presión fuera de las especificaciones se activarán y enviarán una señal eléctrica al controlador; en ese momento el controlador procesará la señal, la identificará como una señal de falla y tomará acciones para prevenir daños a la máquina o a personal operativo. Por ejemplo, se encuentra el *switch* de desarme por baja presión de aceite, ya que la turbina necesita lubricación como cualquier máquina rotativa.

Si la turbina o el generador se llegaran a quedar sin aceite, dañarían las chumaceras en cuestión de segundos, por lo que el *switch* de presión al detectar baja presión, inmediatamente activará una señal; esta será enviada al controlador y el controlador debe cerrar la válvula de admisión de vapor.

Figura 48. **Switch de presión y sus partes**



Fuente: Josefus2003.

Para el montaje de los *switch* de presión, se utiliza un *tubing* acerado que va desde el punto en donde se requiere tomar la presión hasta un *rack* metálico en donde se montan todos los *switch* de presión, el *tubing* se conecta a la entrada del *switch*. Para calibrar el dispositivo, cuenta con dos tornillos ajustables con un destornillador plano; un tornillo es para ajustar el punto de activación y el otro para ajustar el punto de activación.

5.6. Sistema de vibraciones

La vibración en una turbina de vapor no es una avería en sí misma, sino un síntoma de un problema que existe en la turbina y que puede derivar en graves consecuencias. Por esta razón, se implementará un sistema de protección de vibraciones para la turbina, para detectar un alto nivel de vibraciones y provocar la parada antes de que lleguen a producirse graves daños. La vibración es sin duda el problema más habitual de una turbina de vapor de una planta de cogeneración.

La vibración tiene muy diversas causas, por lo que cuando se presenta se hace necesario estudiar cuál es la que está provocando el fenómeno.

La vibración se puede notar durante el proceso de arranque; durante este periodo la turbina atraviesa una o varias velocidades críticas de la turbina en las que la vibración, por resonancia molecular, se ve notablemente amplificada. A continuación se listan las causas más habituales que pueden provocar vibración:

- Mal estado de los sensores de vibración o de los transmisores: es posible que lo que se esté considerando como una vibración sea en realidad una falsa señal, que tenga como origen el mal funcionamiento del sensor encargado de detectar las vibraciones.
- Desalineación entre turbina y reductor, o entre reductor y generador: a pesar de que el acoplamiento es elástico y en teoría soporta cierta desalineación, casi todos los fabricantes de acoplamientos elásticos recomiendan alinear este como si fuera un acoplamiento rígido.

- Problema del caudal o presión en el aceite de lubricación: puede tener su origen en la obstrucción de los conductos por los que circula el aceite, en el mal estado de los filtros o en una avería en las bombas de lubricación. Al ser la cantidad de aceite insuficiente, la posición del eje y el cojinete varían de forma cíclica, dando lugar a la vibración. En casos más graves, el eje y el cojinete se tocan sin película lubricante, lo que provoca una degradación del eje de forma bastante rápida.
- Mal estado de cojinetes: los cojinetes de los que suele disponer un turbogenerador de escape sufren desgaste con el tiempo, aun con una lubricación perfecta. Estos cojinetes están recubiertos de una capa de material antifricción (metal *babbitt*), que se deteriora. Por esta razón, es necesario medir periódicamente las holguras entre eje y cojinetes, y el desplazamiento del eje, para comprobar que los cojinetes aún están en condiciones de permitir un funcionamiento correcto de la turbina. El mal estado del cojinete y la inadecuada lubricación pueden haber afectado al eje en la zona del cojinete, por lo que es necesario comprobar el estado superficial de este.
- Desequilibrio del rotor por suciedad o incrustaciones en álabes: si el acondicionamiento del vapor no ha sido el adecuado, pueden producirse corrosiones en los álabes o deposiciones de materiales extraños a la turbina en éstos. Estas incrustaciones y corrosiones desequilibran la turbina al modificar el reparto de pesos a lo largo del eje de rotación. En caso de incrustación, es conveniente tomar muestras de los materiales depositados y analizarlos, para conocer el origen de las partículas extrañas y tomar las medidas correctoras oportunas. Las incrustaciones pueden ser por carbonatos, hierro, sodio u otros metales.

- Desequilibrio en el rotor por rotura de un álabe: no es frecuente, pero si una partícula extraña entra en la turbina y golpea un álabe puede provocar una pérdida de material o un daño que afectará al equilibrado rotor. Para evitarlo, se colocan unos filtros que retienen objetos de cierto tamaño que puedan estar en circulación por las tuberías de vapor. Si este filtro está dañado o se ha retirado, partículas grandes podrían dañar los álabes.
- Desequilibrio en el rotor por mal equilibrio dinámico: el desequilibrio puede estar producido también por pérdida o daño en algún elemento que gira. El desequilibrio puede ser de origen o puede ser sobrevenido.
- Curvatura del rotor debido a una parada en caliente con el sistema de giro lento detenido: las turbinas de vapor están equipadas con un sistema de giro lento (virador) que facilita que el eje no se curve cuando está caliente. La misión de este sistema es redistribuir los pesos uniformemente sobre el eje de rotación, y evitar curvaturas que desequilibrarían el rotor. Si la turbina se para en caliente y el sistema de giro lento no entra en marcha, es posible que el eje se curve hacia arriba. En ocasiones, el eje puede haberse curvado de forma permanente, bien por un problema de origen o por un calentamiento excesivo. La vibración, en este caso, es difícilmente corregible
- Fisura en el eje: un defecto superficial puede progresar y convertirse en una fisura o grieta. Puede ocurrir por un defecto de fabricación del eje o estar relacionado con corrosiones o tensiones térmicas que puede estar sufriendo. Suelen ser visibles con ayuda de algún elemento de aumento o aplicando algún ensayo no destructivo. Es una avería muy grave que suele suponer la sustitución del rotor.

- Presencia de agua o partículas de vapor: si el vapor a la entrada a la turbina tiene partículas de agua líquida, el choque de las gotas contra la turbina puede provocar vibraciones y desequilibrios. Puede estar causado por una atemperación excesiva, porque la válvula esté en mal estado, o porque en el camino entre la válvula de atemperación y la entrada a la turbina sufra un enfriamiento anormal. La presencia de agua provoca la erosión acelerada de los álabes.
- Tensión de tuberías de vapor: si el alineamiento de tuberías no es perfecto o no se han considerado correctamente los efectos térmicos de dilatación; pueden provocarse tensiones en tuberías que hagan que se ejerza una fuerza extraña sobre su carcasa.

Por lo descrito anteriormente, es necesario tener un sistema para monitorizar las vibraciones que se ejercen sobre el turbogenerador, para eso es necesario instalar una serie de equipos que se describirán a continuación.

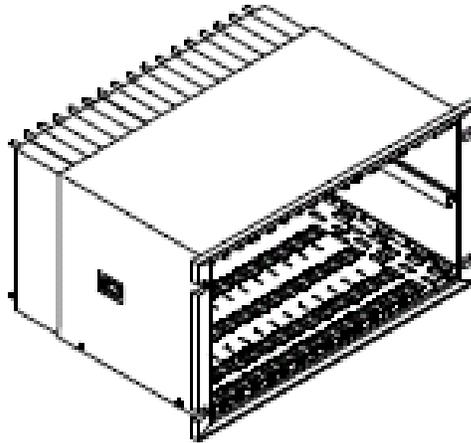
5.6.1. Sistema de vibraciones Bently Nevada 3500

En la sección 3.2.2 se describe el sistema de vibraciones Bently Nevada 3500; en esta sección se describirá el montaje del sistema.

Para el montaje del sistema de vibraciones Bently Nevada 3500, se requiere un *Rack* 3500 de 19", el cual se monta en un panel con protección IP65. El *rack* contiene dos *slots* exclusivos para las fuentes de voltaje redundantes y un *slot* exclusivo para la interface con otros *slots*. Los 14 *slots* restantes en el *rack* pueden acomodar cualquier combinación de monitor, display, *relays*, *keyphasor* e interfaces de comunicación.

Todos los módulos se conectan al *backplane* del *rack*. En la figura 50 se muestran las diferentes partes que componen el sistema de vibraciones.

Figura 49. **Rack 14 slots, Bently Nevada 3500**



Fuente: www.ge.com. Consulta: julio de 2011.

El sistema de protección por vibración es uno de los dispositivos críticos, en caso de falla por deficiencias en el suministro eléctrico, ocasionaría un paro inmediato de la turbina. La probabilidad de falla se puede reducir significativamente si se utilizan fuentes redundantes. Es recomendable utilizar dos suministros de energía independientes y si una es de AC y otra de DC, la probabilidad que los dos suministros fallen al mismo tiempo es mucho menor. Por lo tanto para el sistema de vibraciones, se utilizará una fuente de voltaje 3500/15 AC y una 3500/15 DC.

Las fuentes de voltaje 3500/15 contienen filtros supresores de ruido como un estándar en los dos tipos de fuente, tanto AC como DC. Se utilizarán las fuentes en configuración redundante, lo que significa que si una de las fuentes de voltaje llegara a fallar, la otra entraría a trabajar inmediatamente y el

suministro de energía no se perdería. Las fuentes de voltaje se montan en la parte izquierda del *rack*, tienen *slots* exclusivos para las fuentes. Se montará una fuente con alimentación AC y otra con alimentación DC; para esta se utilizará un banco de baterías de 120VDC, el cual provee un suministro de energía que difícilmente se interrumpe.

La otra fuente de alimentación será una fuente de voltaje AC, el suministro de energía será provisto por un UPS alimentado con dos fuentes de voltaje con transformadores independientes y que están conectados a diferentes interruptores; por lo que se podría decir que tiene *Triple* redundancia. La fuente de voltaje 3500/15 cumple una función de automonitoreo que permite determinar si todas sus salidas de voltaje están dentro de las especificaciones. El módulo tiene *leds* indicadores del estado de la fuente, si el led indicador se encuentra en verde significa “*Supply OK*” el cual se encuentra en frente del panel.

El módulo de Interface con el *rack* (RIM, por sus siglas en inglés) es la interfaz primaria del sistema de vibraciones Bently Nevada 3500 para la configuración, visualización y enlace entre el *software* y el *rack*. Cada *rack* que se monte requiere de un RIM; el RIM se monta después de las fuentes de alimentación y tienen un *slot* exclusivo. El sistema cuenta con un *software* para configuración y supervisión, el cual utiliza el RIM para coleccionar datos del *Rack* 3500.

El módulo 3500/25 ocupa la mitad de un *slot*, por lo tanto, por cada *slot* se pueden instalar dos módulos. Los módulos reciben señales desde los sondas de proximidad o *magnetic pickups* y convierte la señal análoga a una señal digital de velocidad y fase, que indica cuando la muesca coincide con la posición del sensor.

Figura 50. **Sistema de vibraciones Bently Nevada**



Fuente: www.ge-energy.com. Consulta: julio de 2011.

El sistema acepta hasta 4 señales en configuración normal y hasta 8 en configuración apareada. La señal del *keyphasor* pulsante ocurre una vez por vuelta o múltiples eventos por vuelta, desde una rueda con una muesca o una rueda con varias muescas; estas son usadas para proveer una sincronización precisa de medición.

Esto permite monitorear y diagnosticar los equipos para medir la velocidad y parámetros vectoriales tales como 1X de amplitud de vibración y fase.

El monitor 3500/42M es un monitor de 4 canales que acepta entradas de transductores sísmicos y de proximidad, acondiciona la señal para proveer varias medidas de vibración y posición, compara la señal acondicionada con alarmas programadas por el usuario. Con el 3500/42M y utilizando el *software* de configuración, es posible utilizar las siguientes funciones:

- Vibración radial
- Juego axial
- Expansión diferencial
- Excentricidad
- Aceleración
- Velocidad

El propósito principal del 3500/42M es proveer:

- Protección continua a la máquina comparando parámetros monitoreados en contra de *set-points* de alarmas configuradas.
- Información esencial para el operador y personal de mantenimiento.

El módulo 3500/32 es de 4 *relays* los cuales pueden ser programados independientemente por el usuario. El usuario puede utilizar lógica booleana para configurar las alarmas; estas pueden activarse en función de las fallas en los módulos de vibración, posición o fase. Una vez alcanzado un set-point fuera de especificaciones, la alarma se activará y se accionará uno o varios *relays*, dependiendo de la lógica configurada. Se utilizarán 3 de los 4 *relays* disponibles, 1 es exclusivo para la línea de *TRIP*; la línea de *TRIP* se describe en la sección 2.3.1.

Al momento de detectar una vibración crítica en alguna de las chumaceras, se abrirá uno de los contactos del relay, el contacto debe ser un normalmente abierto, por lo tanto en operación normal estará energizado; en el momento que exista una vibración crítica el relay se desactiva, abre la línea de *TRIP* y la válvula de seguridad se cierra inmediatamente.

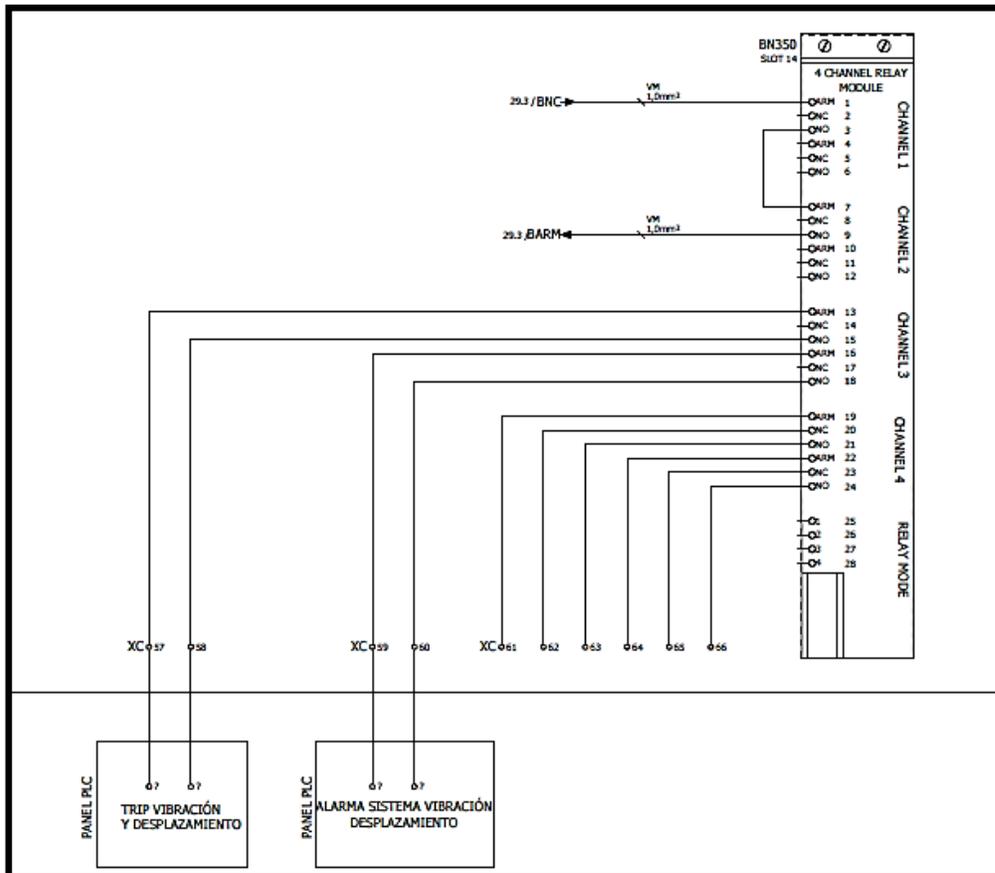
Los otros 2 *relays* se utilizarán como alarmas, un relay será para alarma de alta vibración y el otro será para alarma de *TRIP* por vibración. La figura 51 muestra el diagrama de conexión para los *relays*.

5.6.2. Sondas de vibración, posición, fase y velocidad

Para el montaje de los sensores de vibración y desplazamiento, utilizando el sistema 3000 XL 8mm; es necesario instalar lo siguiente por cada medición de vibración:

- 3300 XL 8mm probe.
- Cable de extensión 3300 XL
- 3300 XL Proximito Sensor

Figura 51. Diagrama de conexión de relays



Fuente: www.grupotgm.com.br Consulta: noviembre de 2010.

El sistema provee una salida de voltaje que es directamente proporcional a la distancia entre la punta de la sonda y la superficie conductora observada por la sonda, es capaz de medir posición y vibración. La aplicación primaria es la medición de vibración y posición en chumaceras que tienen un película de fluido viscoso; en este caso aceite de lubricación. Además las sondas pueden ser utilizadas para medir fase y velocidad.

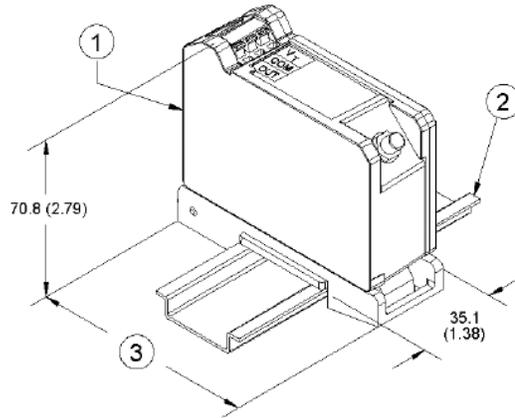
El 3300 XL Proximito Sensor tiene un embalaje físicamente robusto, el cual puede montarse utilizando riel DIN y protegidos por armarios metálicos. La base de montaje provee aislamiento eléctrico y elimina la necesidad de separar las placas de aislamiento. El sensor es altamente inmune a interferencias por radio frecuencias; por esta razón no es necesario utilizar armarios metálicos; podrían utilizarse armarios de fibra de vidrio, sin tener efectos adversos de fuentes de radio frecuencia cerca. Las figuras 52 y 53 muestran el montaje, dimensiones y conexión de los 3300 XL Proximito Sensor a la sonda.

Se debe asegurar que los armarios metálicos estén aislados de la estructura de la turbina, ya que la vibración podría transmitirse a los sensores y estos con el paso del tiempo podrían presentar fallas; por lo que se recomienda que no estén sujetos a la estructura que tenga conexión directa a la turbina.

El rango de voltaje del 3300 XL Proximito Sensor es de 0 a -25 VDC, aproximadamente el voltaje varía 2mV por cada milésima de pulgada (mils); esta señal de voltaje esta cableada hacia el *Rack* 3500 y conectada al módulo 3500/25. La figura 54 muestra la variación de voltaje en función de la distancia de la sonda a la chumacera. La conexión del módulo se ilustra en la figura 53.

La sonda viene en longitudes de 2, 5 y 9 metros; muchas veces es necesario instalar cables de extensión, para que sea posible llegar desde el sensor a la sonda. La sonda tiene una rosca y una tuerca que son utilizadas para ajustar el sensor a una posición estándar, al momento de instalar el sensor es necesario conectar un voltímetro a la salida del sensor y ajustar la sonda hasta que el voltaje de salida del sensor sea de -10VDC, se deja a -10VDC para evitar que el sensor sufra daños durante una vibración violenta y que el error por linealidad se reduzca al mínimo.

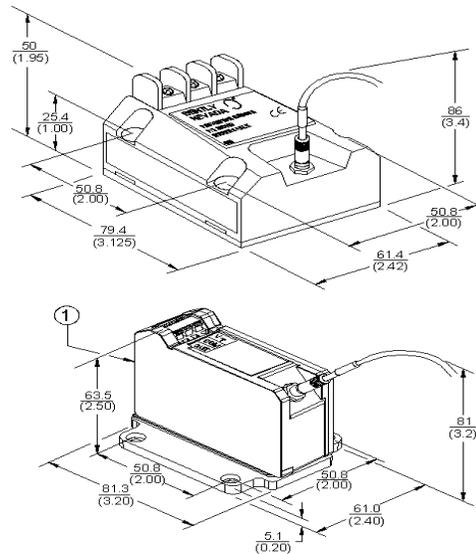
Figura 52. 3300 XL Proximito Sensor



1. Mounting option "A", Options -51 or -91
2. 35mm DIN rail (not included)
3. 89.4 mm (3.52 in). Additional 3.05 mm (0.120 in) clearance required to remove DIN rail.

Fuente: www.ge-energy.com. Consulta: julio de 2011.

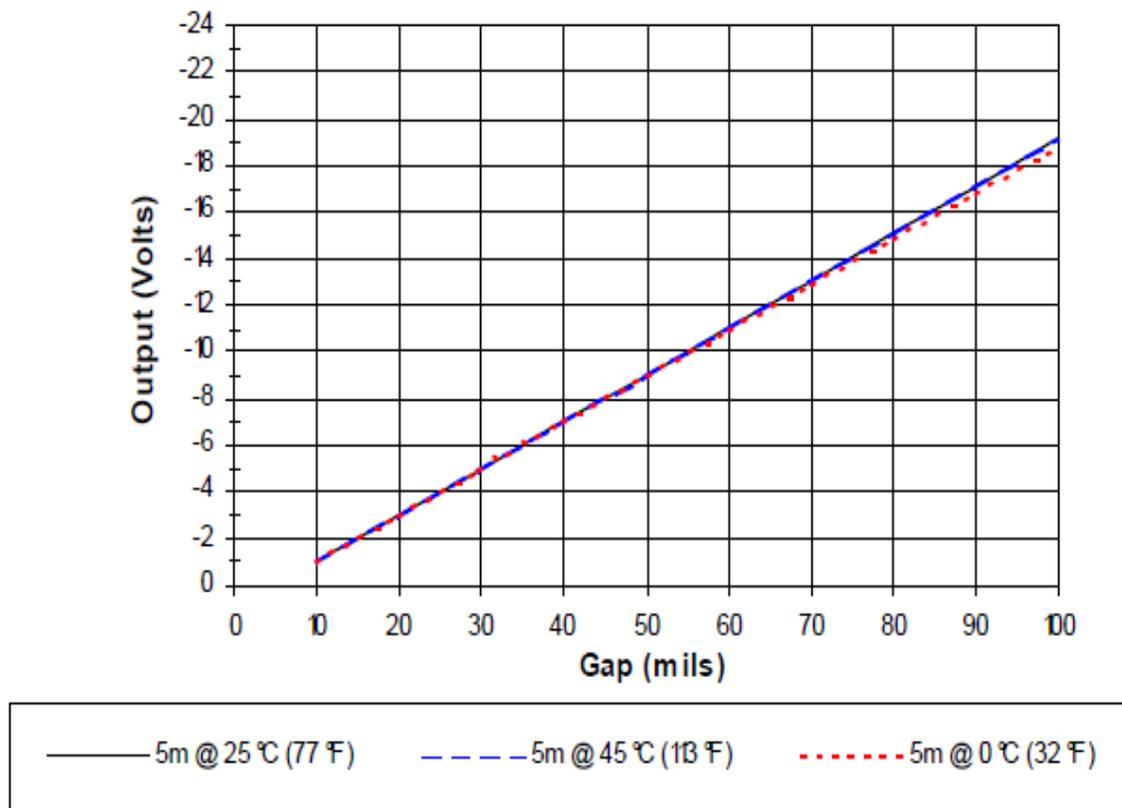
Figura 53. Dimensiones de sensor y conexión de sonda al sensor



Fuente: www.ge-energy.com. Consulta: junio de 2011.

Para el caso de las sondas de posición o de juego axial, es necesario que el técnico especializado en turbinas colocar el rotor de la turbina en el centro, lo que permitirá configurar el módulo 3500/24 para que identifique esa posición como la posición cero, ya que el rotor puede presentar desplazamiento axial positivo o negativo.

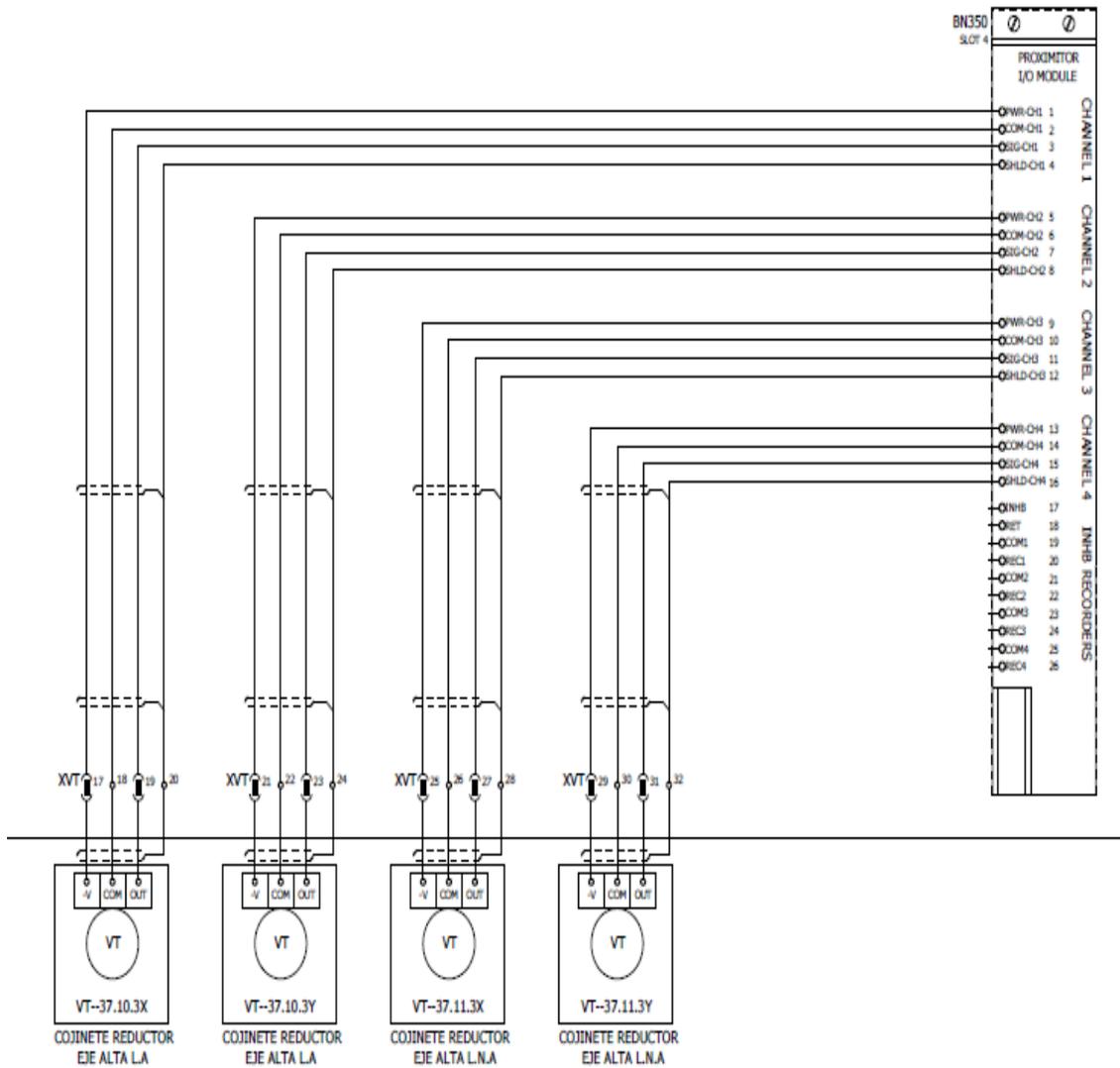
Figura 54. **Salida de voltaje de 3500 XL Proximitor Sensor**



Fuente: www.ge-energy.com. Consulta: junio de 2011.

La figura 56 ilustra el principio de funcionamiento de la sonda para medir desplazamiento.

Figura 55. **Conexiones eléctricas de módulo 3500/25 a 3500 XL**
Proximito Sensor

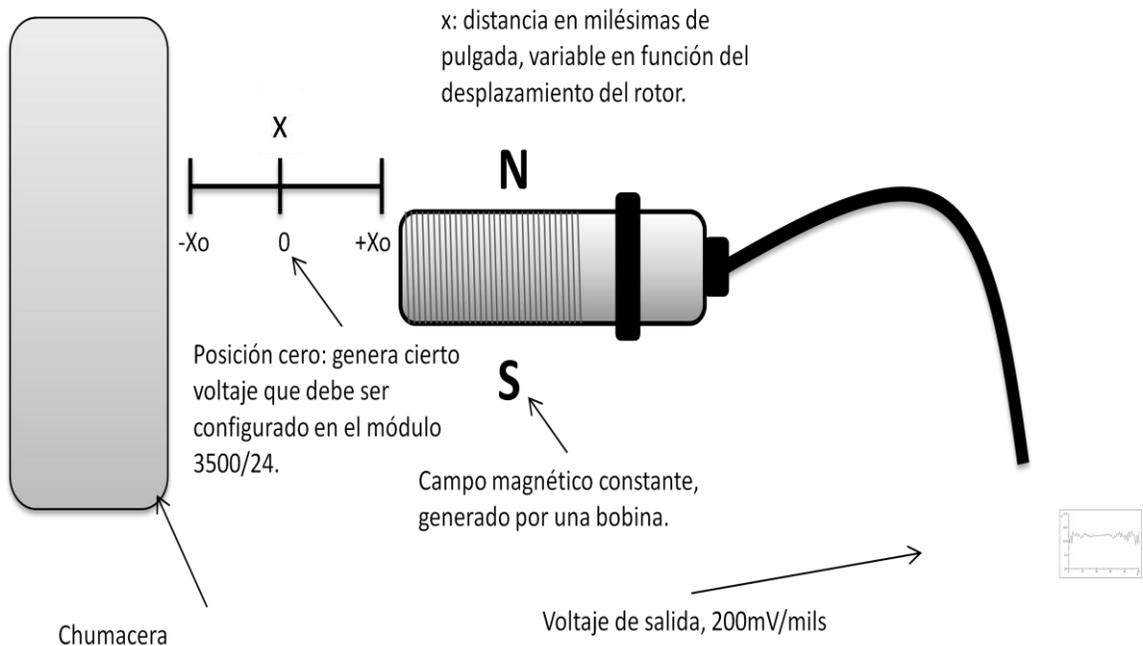


Fuente: www.grupotgm.com.br

La medición de velocidad y fase que van conectadas al módulo 3500/25, se realiza de manera similar al montaje de sensores para medir desplazamiento y vibración. Se debe hacer una muesca en el eje del rotor en donde se desea

medir la velocidad y fase; la profundidad de la muesca debe ser tal que la variación de voltaje del sensor al detectarla sea de por lo menos 5VDC, lo que significa que si el sensor se encuentra midiendo -10VDC fuera de la muesca y al pasar por ella el voltaje llega a -17 VDC, significa que la diferencia de voltaje es de 7VDC, por lo tanto la medición será correcta, si la diferencia de voltaje es menor a 5VDC, es posible que no logre tomar mediciones correctas o que el módulo se vaya a falla.

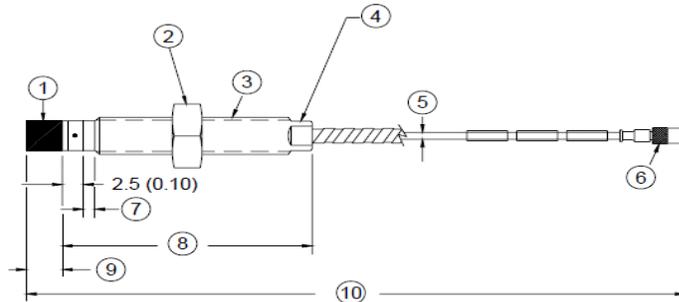
Figura 56. **Desplazamiento axial**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

La figura 57 muestra las partes de la sonda.

Figura 57. Sonda de medición



1. Probe tip, 8.0 mm (0.31 in) diameter
2. 9/16 in for 3/8-24 threads, M17 for M10 threads (see Note 2)
3. Case thread
4. 5/16 in wrench flats for 3/8-24 threads; 8mm wrench flats for M10 threads.
5. 75Ω cable, 3.68 mm (0.145 in) maximum outside diameter, 3.94 mm (0.155 in) maximum outside diameter for FluidLoc cable, 7.67 mm (0.302 in) outside diameter of armor, 9.5 mm (0.38 in) maximum diameter of armor ferrule
6. Miniature male coaxial connector, 7.24 mm (0.285 in) maximum outside diameter "D"
7. Unthreaded length "A"
8. Case length "B"
9. 6.0 mm (0.235 in) maximum
10. Total length "C", +30%, -0%

Fuente: www.ge.com. Consulta: julio de 2011.

5.7. Instalación de CPC

El CPC (Current-to-Pressure Converter) que se utilizará para controlar la admisión de vapor a la turbina, es un CPC de Woodward; el objetivo principal del CPC es posicionar las válvulas de admisión de vapor. El CPC provee un fluido de presión hidráulica proporcional a la señal de corriente de entrada de 4-20mA.

5.7.1. Montaje de CPC

Cuando se seleccione la ubicación de montaje del CPC, debe considerarse lo siguiente:

- Debe haber una adecuada ventilación y evitar el contacto con superficies calientes que puedan transferir el calor hacia el CPC.

- Montar el CPC lo más cerca posible de las válvulas de admisión, líneas hidráulicas cortas ayudan a alcanzar una respuesta óptima.
- Evitar el montaje del CPC en lugares en donde exista alta vibración.

El CPC se monta a un bloque adaptador. El bloque adaptador conecta los 3 puertos hidráulicos del CPC con el suministro de aceite, drenaje y la salida de control de las válvulas de admisión de vapor.

Se tiene que considerar espacio suficiente para poder desmontar la tapa que protegen los circuitos electrónicos y los potenciómetros de calibración.

Se coloca el CPC en contra del bloque adaptador y se atornilla correctamente. Se debe estar seguro que los puertos hidráulicos correspondan con su designación. Las 3 líneas hidráulicas deben ser conectadas al bloque adaptador:

- S (Entrada) – izquierda
 - O (Output) – centro
 - T (Tanque) – derecha
- S, O y T son marcadas en el CPC

El diámetro interno del tubo podría ser lo suficientemente largo para prevenir una presión excesiva durante las condiciones de cambio brusco de fluido (golpe de ariete). Es requerido un diámetro interno de 12 mm.

El CPC necesita ser instalado correctamente. La capacidad de la bomba asociada debe ser tan grande, como lo requerido por el sistema de válvulas.

Antes de instalar el CPC, las líneas hidráulicas, el suministro, el tanque y la líneas desde el CPC al control del sistema de válvulas, se debe hacer un flushing.

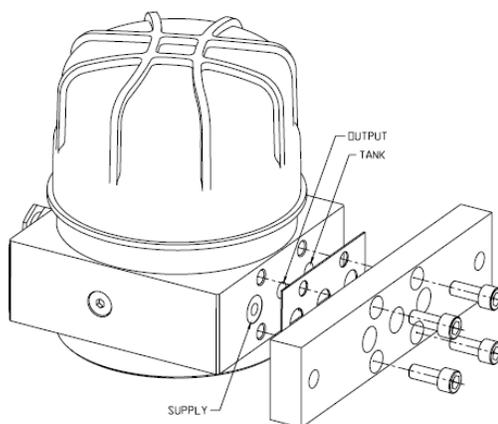
La figura 58 muestra el montaje del CPC al bloque adaptador.

La fuente de energía eléctrica debería de proveer una salida de 2A a 24VDC, con picos de 5^a, durante 3 segundos.

El CPC tiene un cable de entrada, para cables de 10.5 a 13 mm de diámetro. El cable de aislamiento debe soportar más de 80°C.

Se desnudan los cables de alimentación correctamente y se conectan los alambres a las terminales en el circuito impreso. Se recomienda un cable 18 AWG para las señales y un cable 16 AWG para la alimentación de voltaje. A continuación se muestra la tabla VII, que designa la conexión de los pines a la conector.

Figura 58. **Montaje de CPC**



Fuente: www.woodward.com. Consulta: junio de 2011.

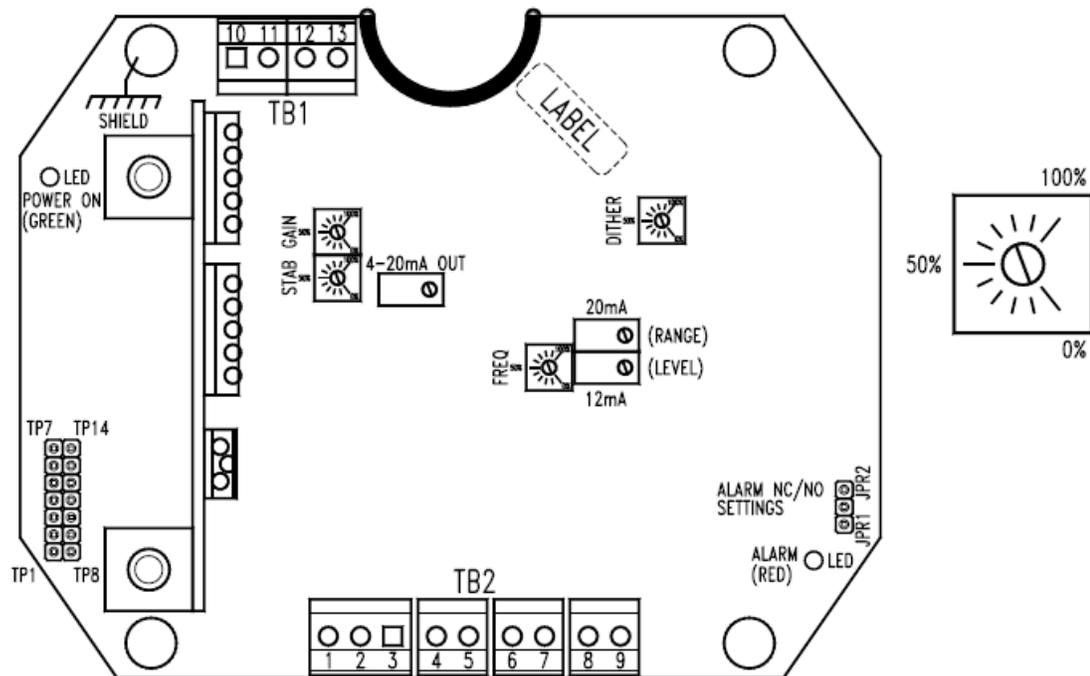
Tabla VIII. **Identificación de conexión de pines a conector**

Pin 1 y 2	+24VDC
Pin 3	Tierra
Pin 4 y 5	+4-20mA como señal de entrada
Pin 6 y 7	+4-20mA como señal de salida
Pin 8 y 9	Salida de contactos del relé

Fuente: elaboración propia, con base en el manual de usuario del CPC.

La figura 59 detalla los componentes de la tarjeta electrónica del CPC se puede observar el conector TB2 que contiene la identificación de las conexiones eléctricas que se debe seguir en base a la tabla VII.

Figura 59. **Componentes de la tarjeta electrónica**



Fuente: www.woodward.com. Consulta: junio de 2011.

5.7.2. Calibración

Después de haber realizado la instalación, el CPC debe ser chequeado para su operación correcta y calibración antes de usar. Previo a realizar las pruebas se debe hacer un chequeo de las conexiones hidráulicas y eléctricas, para verificar que todo esté en orden y la incorrecta instalación provoque daños al dispositivo.

Se deben hacer 7 ajustes en total y 15 puntos de prueba deben ser proveídos. Los ajustes se explican abajo. La figura 59 muestra la ubicación de todos los componentes necesarios para realizar el ajuste; la figura 60 muestra la acción de los diferentes parámetros de configuración.

- Nivel de presión (*pressure level*): este ajuste fija el nivel de salida de presión. Ajustando el nivel, cambia todos los puntos de salida de presión uniformemente. Si se ajusta a favor de las agujas del reloj incrementará el nivel.
- Rango de presión (*pressure range*): este ajuste fija la pendiente de salida de presión. Ajustando a favor de las agujas del reloj incrementará la pendiente de la línea.
- Ganancia (*gain*): este ajuste fija la cantidad de ganancia (acción proporcional) para el control de presión en el circuito. En la mayoría de los casos, 50% de ganancia puede ser usado. Una alta ganancia provee un respuesta rápida en el tiempo, pero puede causar inestabilidad.
- Estabilidad (*stability*): este ajuste fija la estabilidad (acción integral) de control del circuito. La estabilidad coopera con la configuración de la

ganancia para proveer una operación estable. Ajustando a favor de las manecillas del reloj se incrementa la estabilidad.

- Rango de señal (*signal range*): este ajuste fija el rango de la salida de 4-20mA. Este nivel es fijo.
- Puente de relé (*relay jumper*): usando el puente, el contacto del relé puede ser configurado como normalmente abierto o normalmente cerrado.

El circuito impreso provee 14 puntos de prueba. Los voltajes medidos en estos puntos, representan las siguientes señales:

- TP1: alarma
- TP2: presión (1.5 – 7.5 V)
- TP3: señal de error (5 V = no error)
- TP4: posición
- TP5: posición correcta
- TP6: señal del controlador
- TP7: 23V (18 – 23 V)
- TP 8: μ - 4 – 20 mA de señal de entrada, 4mA = 8.5 V, 20mA = 2.5 V
- TP9: fuente de poder interna (+10V)
- TP10: referencia 5V
- TP11: tierra interna de CPC
- TP12: señal de onda triangular
- TP13: señal PWM al controlador
- TP14: corriente a través de la bobina, 6V = +0.83 A, 5V = 0.4 A, 4V = -0.83^a

Para el chequeo, debe procederse de la siguiente manera:

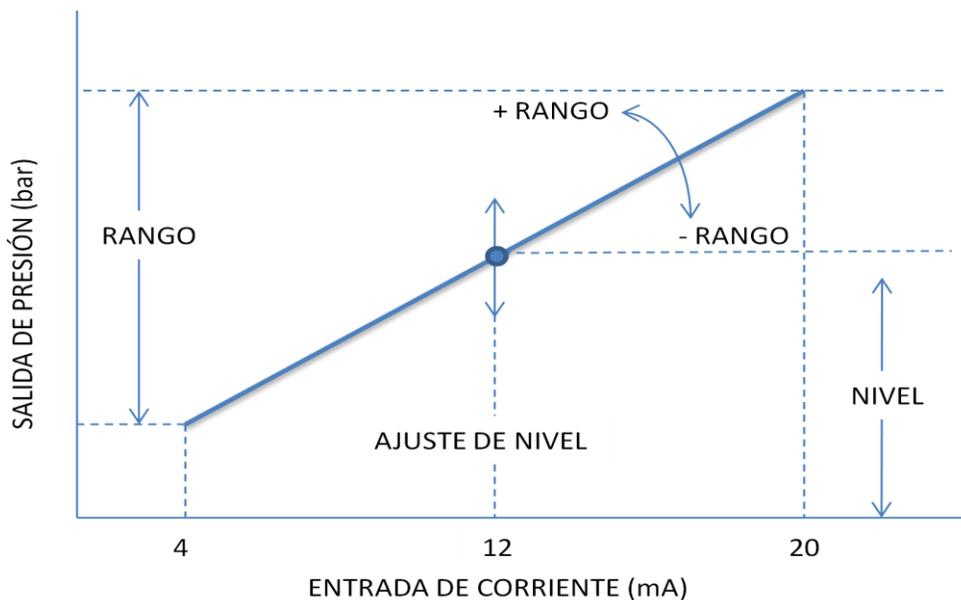
- Verificar la correcta conexión hidráulica y eléctrica;
- Confirmar que la potencia eléctrica e hidráulica estén apagadas;
- Remover la tapa del CPC. Esperar 6 minutos antes de remover la tapa;
- Conectar un calibrador de presión a la línea de salida, para medir la salida de presión;
- Conectar una fuente de corriente con un miliamperímetro en serie, a las terminales 4 (+) y 5 (-);
- Aplicar potencia eléctrica al CPC. El LED verde se iluminará.
- Chequear el voltaje usando un voltímetro a las terminales 1 y 2;
- Chequear la fuente de poder interna utilizando los puntos de prueba TP9 y TP11. La lectura debe ser de $+10 \pm 0.1$ VDC;
- Encender el sistema hidráulico y la fuente de corriente al CPC. Chequee que el aceite tenga la temperatura adecuada de operación y que el aire haya sido purgado del sistema hidráulico. El aire puede ser purgado proveyendo una señal de corriente oscilante al CPC varias veces;
- Observar la presión en el calibrador cuando la corriente de entrada cambia. El nivel de la presión debe corresponder con las especificaciones de fábrica.

El procedimiento para la calibración de presión de salida vrs. Corriente de entrada es el siguiente:

- Fijar la fuente de voltaje a 12 mA y medir la salida de presión;
- Ajustar el nivel de presión para la presión de salida requerida;
- Ajustar la corriente a 20 mA y medir la presión de salida;
- Ajustar el rango de presión para la presión de salida requerida;
- Chequear el ajuste a 12 mA nuevamente y ajustar el nivel si es necesario;
- Chequear el ajuste a 4 mA nuevamente y ajustar la salida con el rango, si es necesario. Notar que cambiando el rango a favor de las manecillas del reloj, resulta en un decremento de la presión;
- Repetir los primeros 6 pasos hasta que la presión de salida a ambos extremos caiga en la tolerancia deseada.
- Ajustar la fuente de corriente a 12 mA.
- Ajustar la ganancia lentamente a favor de las manecillas del reloj. Si la presión de salida controlada se vuelve inestable, ajustar la ganancia en contra de las manecillas del reloj. Normalmente 50% de ganancia puede ser usada para todos los tipos de carga.
- Mover la ganancia en contra de las manecillas del reloj para cargas pequeñas y a favor, para cargas altas.

- Usar un 10-20% de estabilidad para cargas pequeñas. Usar 50-60% para cargas altas, con dos segundos de tiempo constante. Incrementar la estabilidad si el aceite está frío o es altamente viscoso.

Figura 60. **Salida de presión versus entrada de corriente**

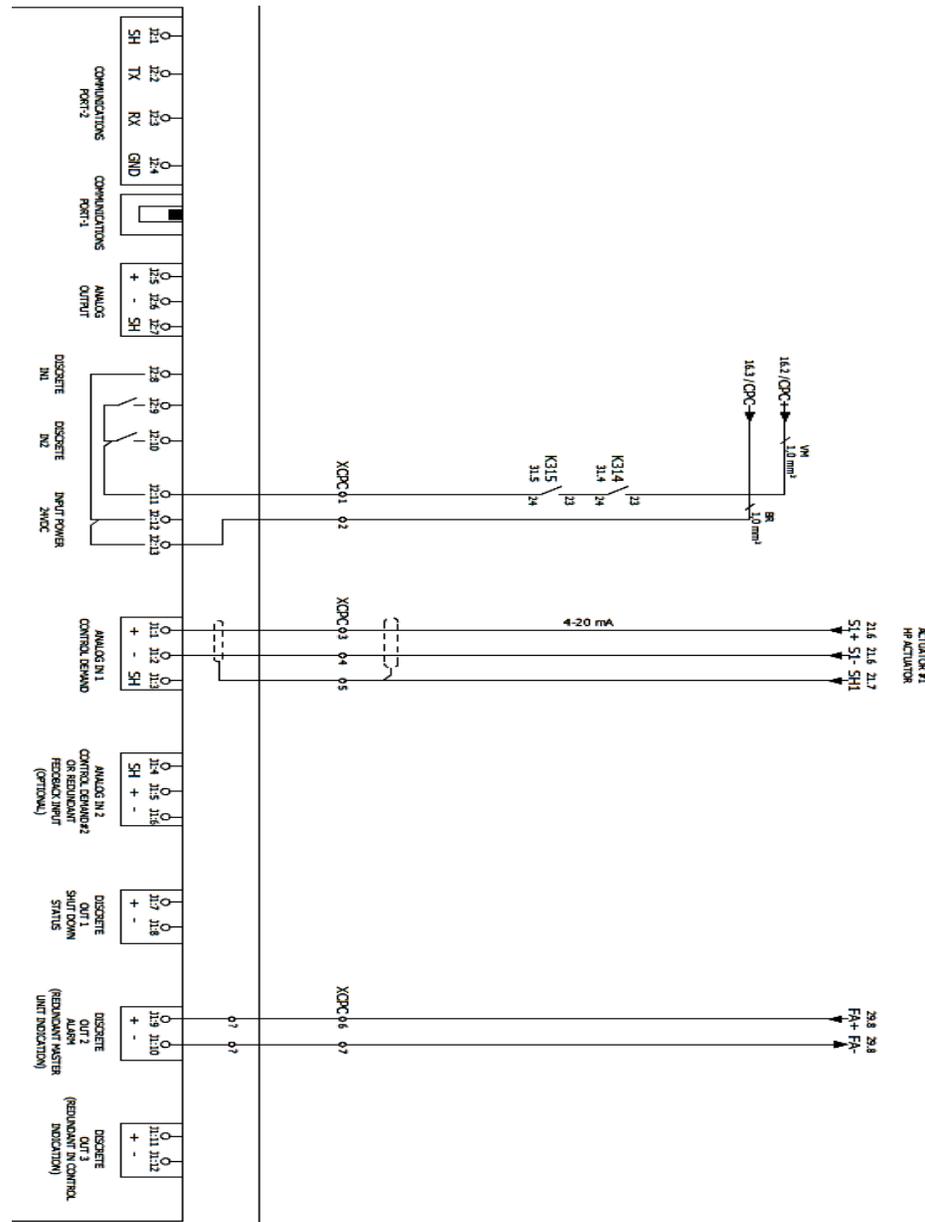


Fuente: elaboración propia, con base en el manual del CPC.

Se realizan los siguientes ajustes dinámicos:

- Si se observan frecuencias de oscilación, la estabilidad puede ser disminuida. Disminuyendo la estabilidad, normalmente resulta en la posibilidad de incrementar la ganancia.

Figura 61. Conexiones a CPC



Fuente: www.grupotgm.com.br. Consulta: junio de 2011.

- Chequear la estabilidad en todo el rango, ajustando la corriente de entrada entre 4 y 20 mA en cambios pequeños.

Una vez realizado el procedimiento de calibración conectar la señal de entrada y salida de corriente al módulo de entradas y salidas análogas respectivamente del *rack* remoto, correspondiente a cada señal. La figura 61 muestra las conexiones del CPC.

6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

El desarrollo de la aplicación consta de dos partes: la programación del controlador y la programación del HMI o la interfaz hombre-máquina. Para lograr tener éxito en el desarrollo de la aplicación, la programación del controlador debe ser bastante robusta y que tenga un buen manejo de errores; combinado con un entorno amigable, funcional y fácil de interpretar para el HMI.

La descripción funcional del sistema de control debe ser provista por el cliente, ya que este es quien conoce a la perfección el funcionamiento de la máquina; aunque esto no siempre es cierto, pero, un buen desarrollador debe tener la capacidad para coleccionar la información requerida y utilizarla para desarrollar la mejor aplicación posible.

Una vez se cuente con la descripción funcional, se deben sentar las bases del diseño, en donde lo más importante, para el caso de un turbogenerador de escape, son las seguridades de la turbina. Toda la lógica de programación debe ser enfocada en protección tanto de la turbina, como del personal operativo. Regularmente, las especificaciones de control de seguridades, las proporciona el fabricante de la turbina; estas especificaciones deben ser traducidas a un lenguaje que el controlador entienda. Por lo tanto el primer paso del desarrollo de la aplicación es hacer una lógica funcional de todo el sistema de control.

Al contar con la lógica funcional, con todos los requerimientos, es necesario hacer el diseño de control, el cual le dará una idea más clara del

hardware necesario para lograr los objetivos propuestos. Todo el *hardware* debe ser instalado y configurado por personal calificado.

El desarrollador de la aplicación, únicamente se encargará de configurarlo en el controlador y hacer las comunicaciones necesarias a todos los periféricos.

El capítulo 6 pretende guiar al lector, sobre cómo configurar el *hardware*, hacer el mapeo de las señales de campo, hacer rutinas para procesar y monitorear todas las variables, y así lograr integrar todo el control en una pantalla de fácil acceso para el operador de la máquina.

6.1. Programación de controlador

La programación del controlador es muy extensa, por lo que solo trataremos de enfocarnos en lo principal, se incluirán partes del código, pero, para comprender el funcionamiento de todo en conjunto se debe tener el código completo, por lo que si alguna persona desea una copia del proyecto puede solicitarlo al correo electrónico: carfrangv@gmail.com.

6.1.1. Configuración de *hardware*

Para la programación del controlador se empleará el *software* RSLogix 5000 V17.00.00 (CPR 9 SR 1) de Rockwell Automation.

El *hardware* a configurar en el controlador se describe a continuación:

- Tarjetas de comunicación Ethernet/IP
- *Backplane* del controlador

- Controlador
- Cabeceras de comunicación Ethernet/IP para los *racks* remotos.

Una vez montadas las tarjetas de comunicación 1756-ENBT en el *backplane* en los *slot* 1 y 2, se identifican las direcciones IP por defecto, las cuales se deben cambiar por las direcciones IP que se requieran. Para este proyecto se utilizarán las siguientes direcciones IP:

- Red de campo: 10.60.3.175
- Red de supervisión: 10.62.1.175
- Máscara de sub red: 255.255.255.0

Para configurar las direcciones IP de los 1756-ENBT, se utiliza el *software* RSLinx Classic de Rockwell. El primer paso es configurar la tarjeta de red de la computadora que se utilizará para realizar la aplicación, asignándole una IP estática que esté dentro de la subred de supervisión y una IP alternativa dentro de la subred que la tarjeta 1756-ENBT trae configurada por defecto:

- IP 1: 10.62.1.69
- IP 2: 192.168.1.3
- Máscara de sub red: 255.255.255.0

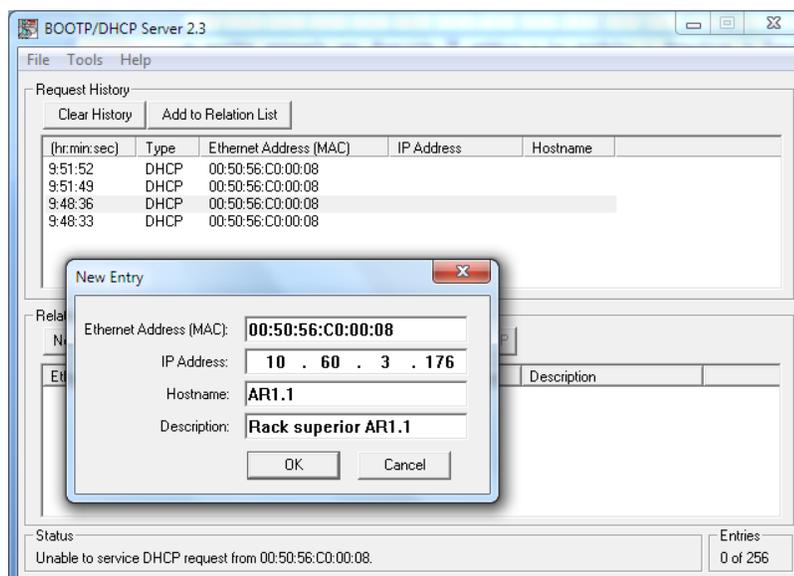
Se abre el programa RSLinx Classic y se agrega un *driver* Ethernet/IP, se utiliza la herramienta RSWho, que se encarga de buscar cualquier equipo que funcione con el protocolo Ethernet/IP, el *software* identificará las tarjetas de red 1756-ENBT; dándole clic derecho a estas se puede acceder a la configuración de puerto que es en donde se cambiará la dirección IP de campo y supervisión requeridas. Una vez realizado esto, la herramienta RSWho

detectará automáticamente el *backplane* del controlador y el controlador, que previamente se han montado en el *slot 0*.

El siguiente paso es configurar las direcciones IP para los módulos de cabecera de los *racks* remotos, para esto se necesitan utilizar el *software* BOOTP/DHCP; esta herramienta detecta las direcciones MAC que estén conectadas a la red; este identificará los módulos de cabecera por medio de su dirección MAC.

Al detectar la dirección MAC es posible asignarle una dirección IP estática a los módulos y desactivar la función DHCP del módulo, la figura 62 muestra la configuración de la dirección IP a los módulos de cabecera.

Figura 62. **Configuración de direcciones IP a módulos de cabecera 1794-AENT**



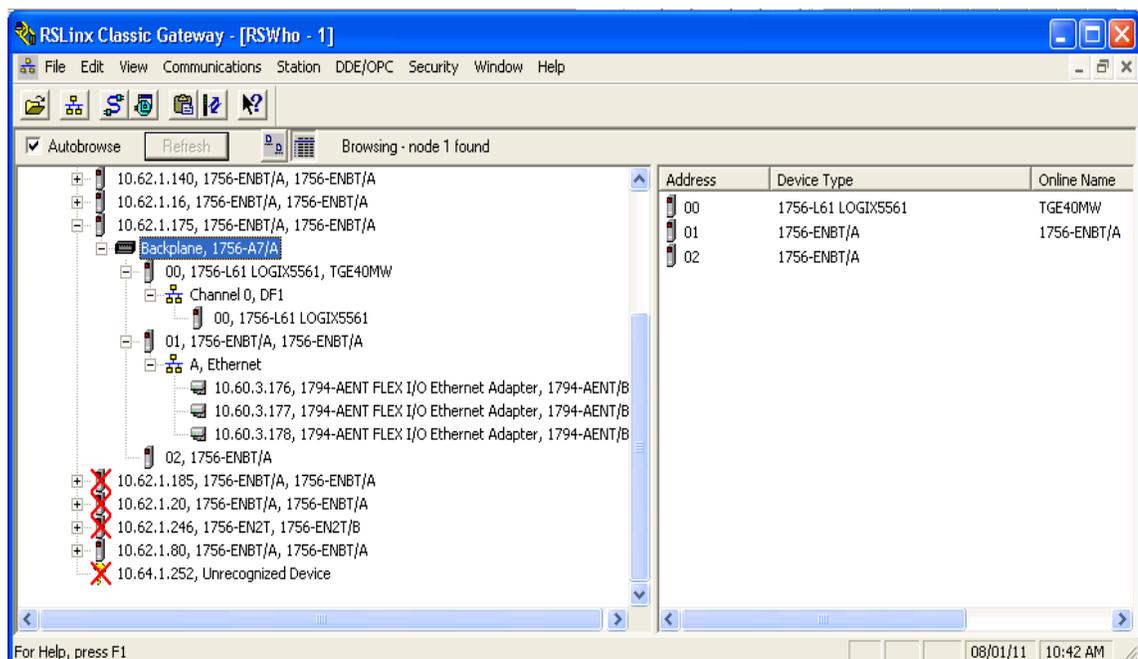
Fuente: elaboración propia, usando BOOTP/DHCP.

Las direcciones IP que se le asignarán a los 3 módulos de cabecera de los racks remotos, se describen a continuación:

- AR 1.1: 10.60.3.176
- AR 1.2: 10.60.3.177
- AR 2.1: 10.60.3.178

Al configurar las direcciones IP de los módulos de cabecera, se regresa a la herramienta RSWho y accediendo las propiedades de la tarjeta de campo, se puede agregar las direcciones IP de los módulos y el programa las identificará; la figura 63 muestra cómo se agregan los diferentes módulos utilizando RSLinx Classic.

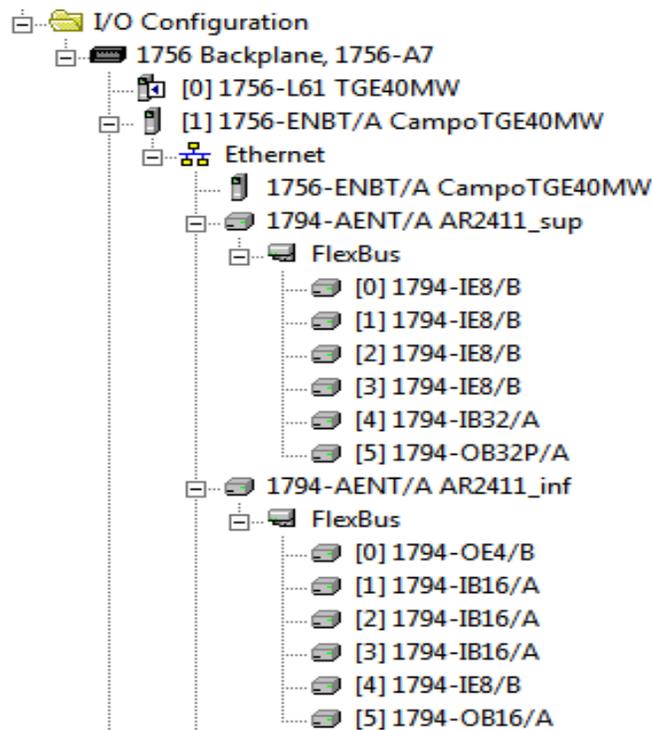
Figura 63. Configuración de *hardware* en RSLinx



Fuente: elaboración propia, usando RSLinx Classic.

Con el *hardware* identificado por RSLinx Classic, se procede a crear un nuevo proyecto usando el *software* RSLogix 5000, en donde se especifica qué tipo de controlador se utilizará y el *slot* en donde se montará, para el presente caso el controlador está en el *slot* 0, se le asignará nombre al proyecto que será Turbo_40MW_v1.acd. En la parte izquierda del programa se encuentra el organizador, en la carpeta “I/O Configuration”, se agregará el *hardware* identificado con el RSLinx Classic; lo primero que se debe hacer es agregar un *backplane* 1756-A7, una vez configurado el *rack* se van agregando cada uno de los módulos.

Figura 64. **Hardware configurado para el proyecto del turbogenerador**



Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

En el *slot* 0 se configuraría el controlador 1756-L61; en el *slot* 1 la tarjeta de red de campo 1756-ENBT y en el *slot* 2 la tarjeta de red de supervisión 1756-ENBT; a las tarjetas de comunicación se les pone la dirección IP correspondiente a cada módulo.

Dentro de las tarjetas de comunicación 1756-ENBT se agregan las cabeceras IP 1795-AENT, asignándoles la IP correspondiente a cada módulo.

Dentro de las cabeceras IP, se agregan los módulos FLEX IO; para este proyecto se utilizarán los siguientes módulos FLEX IO:

- AR 1.1:
 - [0]1794-IE8 entradas análogas
 - [1]1794-IE8 entradas análogas
 - [2]1794-IE8 entradas análogas
 - [3]1794-IE8 entradas análogas
 - [4]1794-IB32 entradas digitales
 - [5]1794-OB32 salidas digitales

- AR 1.2:
 - [0]1794-OE4 salidas análogas
 - [1]1794-IB16 entradas digitales
 - [2]1794-IB16 entradas digitales
 - [3]1794-IB16 entradas digitales
 - [4]1794-IE8 entradas análogas
 - [5]1794-OB16 salidas digitales

- AR 2.1:
 - [0]1794-IR8 RTD

- [1]1794-IR8 RTD

Por último, se configura el Power Monitor 3000; se utiliza un módulo CIP, el cual funciona con el protocolo Ethernet/IP, utilizando la función *message*, que se describirá más adelante.

La figura 64 muestra la carpeta “I/O Configuration” con todo el *hardware* configurado.

Al configurar los módulos FLEX IO, automáticamente se generan TAGS que asocian las señales de campo a un vector; estos vectores se pueden ver en Controlers TAGS. La figura 65 muestra el vector asociado al módulo de entradas análogas del *slot* 0; se puede observar que los elementos Ch1Data, Ch2Data, etc. tienen diferentes valores; esto es porque en el momento que se tomó la imagen, los módulos y sensores estaban midiendo alguna variable física.

Figura 65. TAGS de *hardware*

Name	Value	Force Mask	Style	Data Type
AR2411_sup:0:C	{...}	{...}		AB:1794_IE8:C:0
AR2411_sup:0:I	{...}	{...}		AB:1794_IE8:I:1
AR2411_sup:0:I.Fault	2#0000_00...		Binary	DINT
AR2411_sup:0:I.Ch0Data	10318		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch1Data	17739		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch2Data	6049		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch3Data	14794		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch4Data	16573		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch5Data	7443		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch6Data	16187		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Ch7Data	930		Decimal	INT
AR2411_sup:0:I.Status	2#0000_00...		Binary	INT
AR2411_sup:0:I.Ch0Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch1Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch2Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch3Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch4Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch5Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch6Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.Ch7Underra...	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:0:I.PowerUp	0		Decimal	BOOL

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

6.1.2. Definición de TAGS

Cada una de las señales tanto análogas como digitales, se deben identificar dentro del controlador, para simplificar la programación, se utilizarán TAGS; los TAGS regularmente son estructuras de datos que contienen diversa información. Los TAGS que se utilizará, se describen en la siguiente tabla VIII:

Tabla IX. Definición de TAGS

TAG	Descripción	Tipo
PT651501	Presión de entrada de vapor	Entrada análoga
PT651502	Presión de vapor de escape	Entrada análoga
PT651503	Presión de vapor en cámara de rueda	Entrada análoga
PT651504	Presión de aceite P3	Entrada análoga
PT651505	Presión de aceite P1	Entrada análoga
PT651506	Presión diferencial filtro de aceite	Entrada análoga
PT651507	Presión de aceite de lubricación general	Entrada análoga
PT651508	Presión de aceite de elevación del rotor	Entrada análoga
TT651501	Temperatura de entrada de vapor	Entrada análoga
TT651502	Temperatura carcasa válvula de regulaje	Entrada análoga
TT651503	Temperatura carcasa de la tubería	Entrada análoga
ST651501	Velocidad de turbogenerador de escape	Entrada análoga
LT651501	Nivel de tanque de aceite	Entrada análoga
ZT651401	Desplazamiento axial 1	Entrada análoga
ZT651402	Desplazamiento axial 2	Entrada análoga
KPH651501	Posición angular lado de turbina	Entrada análoga
XT651401	Vibración radial eje de alta L.N.A. X	Entrada análoga
YT651401	Vibración radial eje de alta L.N.A. Y	Entrada análoga
XT651402	Vibración radial eje de alta L.A. X	Entrada análoga
YT651402	Vibración radial eje de alta L.A. Y	Entrada análoga
XT651403	Vibración radial reductor eje de alta L.A. X	Entrada análoga
YT651403	Vibración radial reductor eje de alta L.A. Y	Entrada análoga
XT651404	Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. X	Entrada análoga
YT651404	Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. Y	Entrada análoga
XT651405	Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. X	Entrada análoga
YT651405	Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. Y	Entrada análoga
XT651406	Vibración radial reductor eje de baja L.A. X	Entrada análoga
YT651406	Vibración radial reductor eje de baja L.A. Y	Entrada análoga
XT651407	Vibración radial eje de generador L.A. X	Entrada análoga
YT651407	Vibración radial eje de generador L.A. Y	Entrada análoga
PSH651501	Switch desarme de turbina por alta presión de escape	Entrada digital

Continuación de la tabla IX.

PSL651501	Switch desarme de turbina por baja presión de lubricación	Entrada digital
ZS651501	Switch de bloqueo de bomba de elevación del rotor	Entrada digital
ZS651502	Switch de bloqueo de variador	Entrada digital
PSL651502	Switch de desarme por baja presión de aceite	Entrada digital
ZS651503	Switch de arranque de bomba auxiliar	Entrada digital
ZSA651501	Fin de carrera válvula de cierre rápido apertura abierta	Entrada digital
ZSF651501	<i>Trip</i> de emergencia	Entrada digital
ZSF651502	<i>Trip</i> turbina en sobre velocidad	Entrada digital
ZSF651503	<i>Trip</i> de vibración y desplazamiento	Entrada digital
ZSF651504	<i>Trip</i> turbina 1	Entrada digital
ZSF651505	<i>Trip</i> turbina 2	Entrada digital
ZSF651506	<i>Trip</i> de generador	Entrada digital
ZSF651507	<i>Trip</i> de generador	Entrada digital
ZSF651508	<i>Trip</i> remoto	Entrada digital
ZSF651509	<i>Trip</i> remoto	Entrada digital
ZSF651510	<i>Trip</i> de vibración bently nevada	Entrada digital
ZSF651511	<i>Trip</i> de vibración bently nevada	Entrada digital
ZSF651512	<i>Trip</i> de gobernador 505	Entrada digital
ZSF651513	<i>Trip</i> de alta presión de escape PSHH	Entrada digital
ZSF651514	<i>Trip</i> baja presión de aceite PSL	Entrada digital
ZSF651515	<i>Trip</i> muy baja presión de aceite	Entrada digital
ZSF651516	<i>Trip</i> sobre velocidad mecánico	Entrada digital
ZSF651517	<i>Trip</i> sobre velocidad del protech	Entrada digital
FLL651501	Fallo de fuentes de alimentación a CPC	Entrada digital
FLL651502	Fallo de fuentes de alimentación de equipos de control	Entrada digital
FLL651503	Falla de CPC 1	Entrada digital
FLL651504	Falla de CPC 2	Entrada digital
ZAM651501	Alarma de protech	Entrada digital
ZAM651502	Alarma de sistema de vibración y desplazamiento	Entrada digital
ZAM651503	Alarma de gobernador 505	Entrada digital
ZAM651504	Excitador liberado 90% rpm	Entrada digital
ZAM651505	Excitador liberado 90% rpm	Entrada digital
ZAM651506	Desarme de emergencia	Entrada digital
ZAM651507	Reset vibraciones bently nevada	Entrada digital
ZSI651501	Confirmación de marcha bomba de drenaje	Entrada digital
ZSR651501	Local remoto bomba de aceite de emergencia	Entrada digital
ZSI651502	Confirmación de marcha bomba de aceite de emergencia	Entrada digital
ZSR651502	Local remoto bomba de aceite auxiliar	Entrada digital
ZSI651503	Confirmación de marcha bomba de aceite auxiliar	Entrada digital
ZSI651504	Confirmación de marcha bomba de descarga de niebla	Entrada digital
ZSI651505	Confirmación de marcha motor de descarga de envoltura 2	Entrada digital
ZSI651506	Confirmación de marcha bomba de elevación del rotor	Entrada digital
ZAM651508	Fin de carrera de válvula de cierre rápido	Entrada digital

Continuación de tabla IX.

ZAM651509	Fin de carrera de válvula de cierre rápido	Entrada digital
TT651505	Temperatura tanque de aceite	Rtd
TT651506	Temperatura aceite después enfriador aceite	Rtd
TT651507	Temperatura aceite antes enfriador aceite	Rtd
TT651508	Temperatura metal cojinete radial turbina LNA	Rtd
TT651509	Temperatura metal cojinete axial exterior turbina	Rtd
TT651510	Temperatura metal cojinete axial interior turbina	Rtd
TT651511	Temperatura metal cojinete radial turbina LA	Rtd
TT651512	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje alta LNA	Rtd
TT651513	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje alta LA	Rtd
TT651514	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje baja LNA	Rtd
TT651515	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje baja LA	Rtd
TT651504	Temperatura después de atemperador	Rtd
SV651501	Válvula de atemperación de la línea de escape	Salida análoga
WR651501	Retransmisión de potencia a Woodward 1	Salida análoga
WR651502	Retransmisión de potencia a Woodward 2	Salida análoga
CTR651501	Reset de Woodward de turbogenerador de escape de 40MW	Salida digital
CTR651502	Subir velocidad al turbogenerador de escape de 40MW	Salida digital
CTR651503	Bajar velocidad al turbogenerador de escape de 40MW	Salida digital
CTR651504	Reserva 1	Salida digital
CTR651505	Reserva 2	Salida digital
CTR651506	Reserva 3	Salida digital
CTR651507	Parte turbina	Salida digital
CTR651508	Disyuntor del generador	Salida digital
CTR651509	Salida permitida	Salida digital
CTR651510	Habilitar sincronización	Salida digital
CTR651511	Reserva 8	Salida digital
CTR651512	Reserva 9	Salida digital
CTR651513	Reserva 10	Salida digital
CTR651514	Reserva 11	Salida digital
CTR651515	Reserva 12	Salida digital
ZSO651501	<i>Trip</i> de generador	Salida digital
ZSO651502	<i>Trip</i> Remoto	Salida digital
CLX651501	Sirena	Salida digital
CTR651516	Reset protech 203	Salida digital
CTR651517	Reset bently nevada	Salida digital
ZSO651503	<i>Trip</i> alta presión de escape	Salida digital
ZSO651504	<i>Trip</i> baja presión de aceite	Salida digital
ZSO651505	<i>Trip</i> presión muy baja de aceite PSL	Salida digital
ZSO651506	<i>Trip</i> sobre velocidad mecánico	Salida digital

Fuente: elaboración propia, en base al programa Microsoft Excel.

6.1.3. Mapeo de señales

Para el mapeo de las señales, tanto digitales como análogas, se utilizarán las siguientes rutinas:

- ENTAN: para el mapeo de las entradas análogas
- ENTDIG: para el mapeo de las entradas digitales
- RTD: para el mapeo de las entradas de sondas de temperatura
- SALAN: para el mapeo de las salidas analógicas
- SALDIG: Para el mapeo de las salidas digitales

La rutina ENTAN, utiliza un Add-On Instruction (AOI) y los Add-On Instruction, que son funciones que se conocen como técnicas de encapsulación. Es posible definir una función, que recibe ciertas entradas, y produce un resultado, de tal modo que la función es independiente del contexto. Está completamente encapsulada, o aislada del resto del programa. Las ventajas de utilizar Add-On Instruction son:

- Generación de código reusable. Es decir, una vez que el código es definido apropiadamente, pueden utilizarse una y otra vez, tanto en el mismo proyecto, como en otros.
- Ahorro de tiempo.
- Mejor administración de cambios, ya que los cambios del código pueden ser fácilmente traspasados a todos los usos de la función.
- Consistencia; ya que las funciones que han resultado bien, funcionarán bien en un nuevo proyecto, sin importar el resto del código.

- Mejora la documentación, ya que las rutinas ya depuradas pueden ser documentadas con mucho mayor detalle.
- Protección de código.

Por tal motivo se utilizará AOI's para el desarrollo de la aplicación; necesitaremos un AOI que maneje las entradas análogas, el código se muestra en la figura 67. El nombre del AOI que maneja las entradas análogas es S_EA1794, este requiere de dos parámetros, un vector de entrada y otro de salida; el vector de entrada contiene la dirección física de la entrada análoga y el de salida contiene la señal escalada y alarmas requeridas.

Figura 66. **Ejemplo de mapeo de señales análogas**

```

/// RUTINA DE ACTUALIZACION DE ENTRADAS ANALOGICAS
//*****AR24.11 Rack superior***
//IP: 10.60.3.176

//Módulo: 1794-IE8
//SLOT: 0
// Presión de entrada de vapor
PT651501.NTAG := 1;
PT651501.UNITS := 4;
S_EA1794(EA1797_PT651501,AR2411_sup:0:I.Ch0Data,PT651501);

// Presión de vapor de escape
PT651502.NTAG := 2;
PT651502.UNITS := 4;
S_EA1794(EA1797_PT651502,AR2411_sup:0:I.Ch1Data,PT651502);

// Presión de vapor en cámara de rueda
PT651503.NTAG := 3;
PT651503.UNITS := 4;
S_EA1794(EA1797_PT651503,AR2411_sup:0:I.Ch2Data,PT651503);

```

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000

En la figura 66 se puede observar cómo se mapea cada una de las entradas análogas; como se puede ver, lo que está en color verde son comentarios, las primeras dos líneas asignan un identificador a uno de los

elementos del vector de entradas análogas; la segunda línea es un identificador de las unidades de ingeniería y la tercera línea es el llamado al AOI, el cual cuenta con 3 parámetros, uno asociado al AOI y el segundo a la dirección de la entrada analógica; el tercero es el vector de entradas analógicas. En la figura 66 se mapean 3 señales: presión de entrada de vapor, presión de vapor de escape y presión de vapor en cámara de rueda.

El mapeo de las entradas y salidas digitales no requiere de un AOI, ya que lo que se debe hacer es asignar directamente la entrada o salida al TAG correspondiente.

Figura 67. Add-On Instruction S_EA1794

```

//Subrutina para entradas analogicas
xpv.err := 1;
if pve <= -650 then
  xpv.stat := 5; //canal abierto
elsif (pve < -60 & pve > -650) then
  xpv.stat := 2; //bajo rango
elsif pve > 10000 then
  xpv.stat := 1; //sobre rango
else
  xpv.stat := 0; //medida valida
  xpv.err := 0;
end_if;
xpv.pva := pve /30840.0;
if (xpv.sqrt) then //cuadratica
  if (xpv.pva > 0.0) then
    xpv.pvt := SQRT(xpv.PVA) * (xpv.LSUP - xpv.LINF) + xpv.LINF;
  else
    xpv.pvt := xpv.linf;
  end_if;
else //lineal
  xpv.pvt := xpv.PVA * (xpv.LSUP - xpv.LINF) + xpv.LINF;
end_if;
previo := xpv.PV;
LowPass(lowpass_xpv, xpv.PVT, previo, xpv.KF, xpv.PV);
//GESION DE LAS ALARMAS GENERICAS
//ALARMA POR ALTO
xpv.AH_ret := xpv.pv >= xpv.P_AH;
xpv.TIME_H.TimerEnable := xpv.AH_ret;
xpv.TIME_H.Reset := not xpv.AH_ret;
xpv.TIME_H.PRE := xpv.P_AH_dly * 1000; //pasamos de segundos a milisegundos
TONR(xpv.TIME_H);
xpv.AH := xpv.TIME_H.DN;
//ALARMA POR BAJO
xpv.AL_ret := xpv.pv <= xpv.P_AL;
xpv.TIME_L.TimerEnable := xpv.AL_ret;
xpv.TIME_L.Reset := not xpv.AL_ret;
xpv.TIME_L.PRE := xpv.P_AL_dly * 1000; //pasamos de segundos a milisegundos
TONR(xpv.TIME_L);
xpv.AL := xpv.TIME_L.DN;

```

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000

Por ejemplo, si se desea mapear la entrada digital que viene del switch de desarme por alta presión de vapor de escape, el switch cerrará un contacto; este cambio de voltaje lo detectará el módulo de entradas digitales y automáticamente colocará a 1 el bit correspondiente al módulo que detectó la señal de desarme.

La figura 68 muestra los elementos Data.0, Data.1, Data.2, etc. correspondientes a cada uno de los canales del módulo de entradas análogas; por ejemplo, el *bit* AR2411_sup:4:I.Data.1 que corresponde a la AR1.1, *slot* 4 y canal 1, se encuentra en el estado lógico 1 o activado, en el momento que el switch cambie de posición, este bit automáticamente cambiará a 0.

Figura 68. **Vector asociado a un módulo de entradas digitales**

Name	Value	Force Mask	Style	Data Type
AR2411_sup:4:I.Fault	2#0000_00...		Binary	DINT
AR2411_sup:4:I.Data	2#0000_00...		Binary	DINT
AR2411_sup:4:I.Data.0	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.1	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.2	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.3	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.4	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.5	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.6	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.7	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.8	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.9	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.10	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.11	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.12	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.13	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.14	1		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.15	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.16	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.17	0		Decimal	BOOL
AR2411_sup:4:I.Data.18	0		Decimal	BOOL

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

Para el caso de las salidas digitales es similar, la diferencia es el orden de la asignación; en la figura 69 se muestra cómo se asignan las salidas digitales y entradas digitales a los TAGS correspondientes. Se puede ver que para la señal de desarme PSH651501, está asociada al bit de entrada AR2411_sup:4:I.Data.0 y la señal de *reset* de Woodward, está asociada a AR2411_sup:5:O.Data.0.

Figura 69. Ejemplo de mapeo de entradas y salidas digitales

```
//IP: 10.60.3.176 /// RUTINA DE ACTUALIZACION DE ENTRADAS DIGITALES

//Módulo: 1794-IB32
//SLOT: 4
PSH651501 := AR2411_sup:4:I.Data.0; // Switch desarme de turbina por alta presión de escape
PSL651501 := AR2411_sup:4:I.Data.1; // Switch desarme de turbina por baja presión de lubricaci
ZS651501 := AR2411_sup:4:I.Data.2; // Switch de bloqueo de bomba de elevación del rotor
ZS651502 := AR2411_sup:4:I.Data.3; // Switch de bloqueo de variador, contacto a un NC
PSL651502 := AR2411_sup:4:I.Data.4; // Switch de desarme por muy baja presión de lubricación
ZS651503 := AR2411_sup:4:I.Data.5; // Switch de arranque de bomba auxiliar
//:= AR2411_sup:4:I.Data.6; // Disponible
ZSA651502 := AR2411_sup:4:I.Data.7; // Fin de carrera de bloqueo de motor de volteo
ZSF651501 := AR2411_sup:4:I.Data.8; // Trip de emergencia, hongo
ZSF651502 := AR2411_sup:4:I.Data.9; // Trip turbina en sobrevelocidad de protech
ZSF651503 := AR2411_sup:4:I.Data.10; // Trip vibración y desplazamiento
ZSF651504 := AR2411_sup:4:I.Data.11; // Trip 1 turbina
ZSF651505 := AR2411_sup:4:I.Data.12; // Trip 2 turbina
ZSF651506 := AR2411_sup:4:I.Data.13; // Trip por Lockout 1
ZSF651507 := AR2411_sup:4:I.Data.14; // Trip por Lockout 2
RST651501 := AR2411_sup:4:I.Data.15; // Reset general de alarmas



---


/// RUTINA DE ACTUALIZACION DE SALIDAS DIGITALES

//***** AR-2411 Rack superior *****
//IP: 10.60.3.176

//Módulo: 1794-OB32
//SLOT: 5

AR2411_sup:5:O.Data.0 := CTR651501; // Reset de woodward de turbogenerador de escape
AR2411_sup:5:O.Data.1 := JEA651501; // Subir potencia reactiva
AR2411_sup:5:O.Data.2 := JEA651502; // Bajar potencia reactiva
AR2411_sup:5:O.Data.3 := ZSO651515; // Alarma de trip por baja temperatura en calderas
AR2411_sup:5:O.Data.4 := CTR651505; // Reserva 2 bornera XDI(15,16)
AR2411_sup:5:O.Data.5 := CTR651506; // Reserva 3 bornera XDI(17,18)
AR2411_sup:5:O.Data.6 := CTR651507; // Parte turbina
AR2411_sup:5:O.Data.7 := CTR651508; // Disyuntor del generador
AR2411_sup:5:O.Data.8 := CTR651509; // Salida permitida
```

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

Para el mapeo de las salidas análogas y RTD's, se utilizará el mismo procedimiento utilizado para el mapeo de las entradas análogas. El código fuente para el AOI de las salidas análogas se muestra en la figura 70, el AOI para las salidas análogas se llama S_SA1794.

Figura 70. Código de AOI S_SA1794

```
//Subrutina para salidas analogicas

// Se limita el valor de salida para que no quede fuera de rango
if XC.OUT > 100 then
    XC.OUT := 100;
elsif XC.OUT < 0 then
    XC.OUT := 0;
end_if;

// Se calcula el valor definitivo en función si es acción directa o inversa
if XC.INV then
    salida := 100 - XC.OUT;
else
    salida := XC.OUT;
end_if;

// Realiza el escalado de la salida
salidareal := salida*30840/100;

// Comprueba error de canal abierto
if OpenWire then
    XC.STAT := 5;
    XC.ERR := 1;
else
    XC.STAT := 0;
    XC.ERR := 0;
end_if;
```

Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

El código para el mapeo de las señales análogas y RTD's se muestra en la figura 71. Se puede observar que para el mapeo de las salidas análogas se requieren 4 parámetros; el primero es un parámetro asociado al AOI; el segundo es el vector asociado a la salida análoga, el tercero es la salida

asociada al módulo de salidas análogas y el cuarto es un *bit* de alarma de circuito abierto, que cambia a estado lógico 1 cuando el dispositivo esta desconectado.

Figura 71. Ejemplo de mapeo de Salidas análogas y RTD's

```

/// RUTINA DE ACTUALIZACION DE SALIDAS ANALOGICAS

//***** AR-2412 *****
//IP: 10.60.3.177

//Módulo: 1794-OE4
//SLOT: 0

SV6S1501.NTAG := 48;
S_SA1794(SA1797_SV6S1501,SV6S1501,AR2411_inf:0:O.Ch0Data,AR2411_inf:0:I.Ch0OpenWire);

WR6S1501.NTAG := 49;
S_SA1794(SA1797_WR6S1501,WR6S1501,AR2411_inf:0:O.Ch1Data,AR2411_inf:0:I.Ch1OpenWire);

WR6S1502.NTAG := 50;
S_SA1794(SA1797_WR6S1502,WR6S1502,AR2411_inf:0:O.Ch2Data,AR2411_inf:0:I.Ch2OpenWire);



---



/// RUTINA DE ACTUALIZACION DE TermoResistencias

//*****AR21_12*****
//IP: 10.60.3.178

//MODULO: 1794-IR8
//SLOT: 0

TT6S1505.NTAG := 33;
TT6S1505.UNITS := 6;
S_EAIR8Pt(EAIR8_TT641505, AR24121:0:I.Ch0Data, TT6S1505); //Temperatura Tanque de Aceite
TT6S1506.NTAG := 34;
TT6S1506.UNITS := 6;
S_EAIR8Pt(EAIR8_TT641506, AR24121:0:I.Ch1Data, TT6S1506); //Temperatura Aceite Despues Enfriador Aceite
TT6S1507.NTAG := 35;
TT6S1507.UNITS := 6;

```

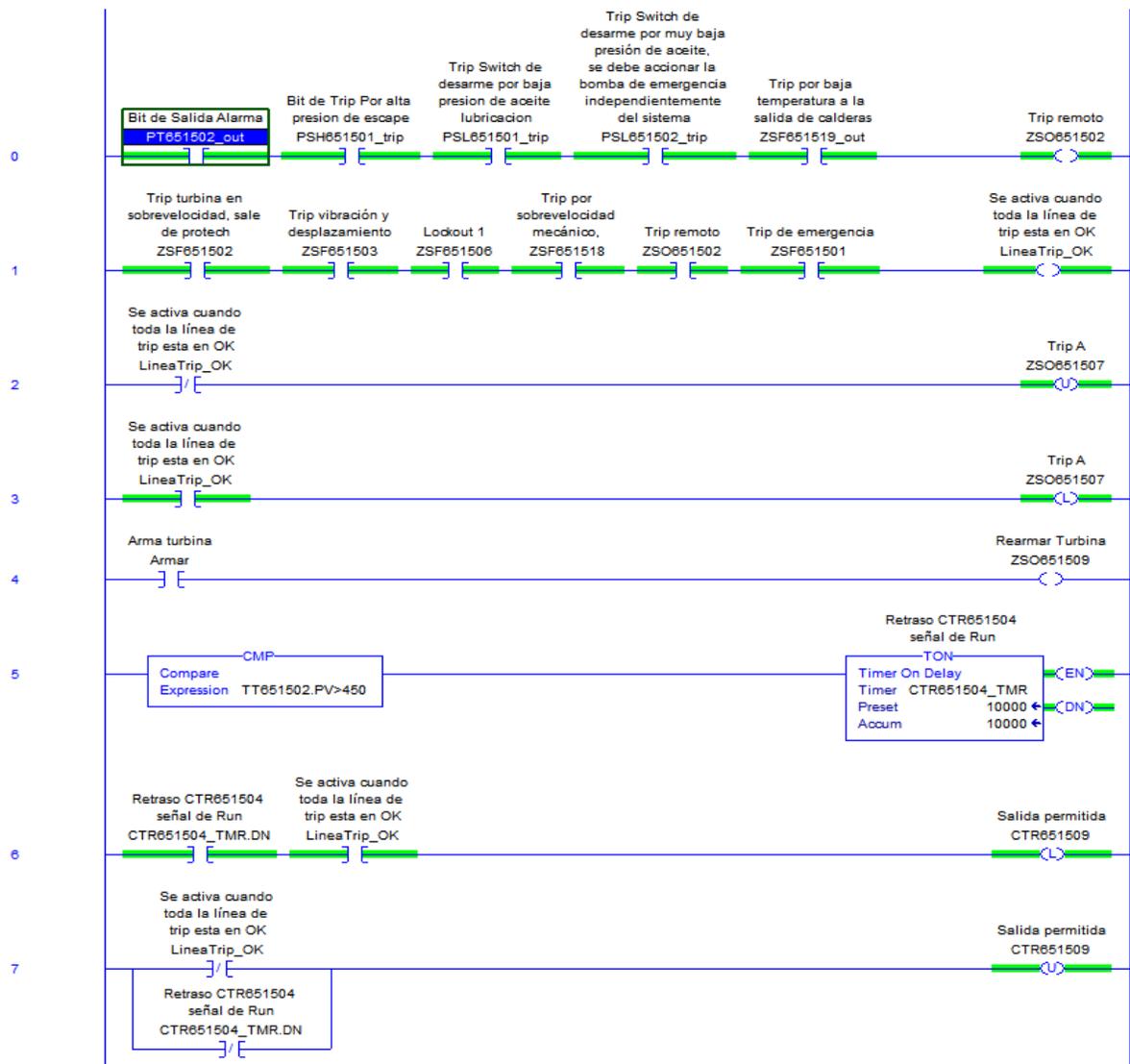
Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

6.1.4. Programación de seguridades

Durante la puesta en marcha de la turbina; existen varias condiciones físicas que se deben cumplir antes que se pueda arrancar la turbina, a este proceso se le conoce como “armado de turbina”; durante el armado de la turbina, es requerido que el vapor de admisión llegue a cierta temperatura

durante cierto tiempo a una presión arriba de 600 psi; en caso esto no se cumpla, no se podrá cerrar la línea de *TRIP* y la turbina no puede ponerse en marcha.

Figura 72. Parte del código escalera utilizado. Rutina F2_Armar



Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

Para lograr el arranque secuencial de la turbina, se programa una rutina llamada F2_Armar. La finalidad de la rutina es verificar que todas y cada una de las condiciones necesarias esté dentro de los parámetros requeridos, para que la turbina; arranque sin que exista un posible daño. Si todos los parámetros de armado se cumplen, será posible arrancar la turbina, en caso exista una condición desfavorable, inmediatamente se activará una señal de alarma que abrirá la línea de *TRIP* y la turbina se parará.

La rutina F2_Armar se programó utilizando programación en escalera o Ladder, es un lenguaje de programación gráfico que es comúnmente utilizado en controladores programables como el L61 descrito en el capítulo 3.1. En la figura 72 se muestra la rutina F2_Armar.

6.1.5. Programación de alarmas

La cantidad de alarmas necesarias para cubrir las exigencias del cliente era bastante alta, por lo que se utilizaron AOI para generar las alarmas, estas se dividieron en 3 tipos:

- Digitales
- Análogas
- RDT

El AOI se le envían parámetros de límites de alarma, histéresis y señal de proceso, la función retorna un bit que al activarse provoca que la línea de *TRIP* se abra o que una alarma aparezca en el HMI. En la figura 73 se puede ver el AOI que gestiona las alarmas.

La figura 74 muestra el llamado de la función “Alarma”.

Figura 73. Llamado de AOI de alarmas

```

HH := 1; //Alarma Alto
LL := 0; //Alarma Bajo
NC := 1; //Seguridad Normalmente Cerrado
NO := 0; //Seguridad Normalmentemte Abierto

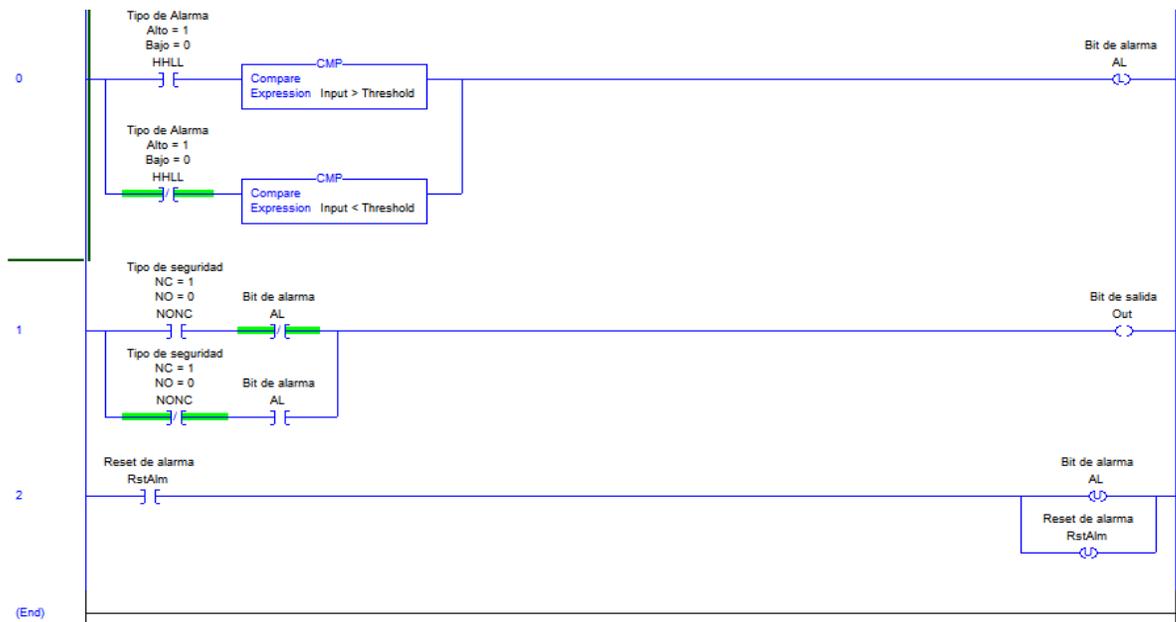
//*****ALARMAS DE PRESIONES*****

Alarma(PT651501_Alm,HH, PT651501.pv, PT651501.P_AH, NC,PT651501_out, PT651501_rst);
Alarma(PT651502_Alm,HH, PT651502.pv, PT651502.P_AH, NC,PT651502_out, PT651502_rst);
Alarma(PT651503_Alm,HH, PT651503.pv, PT651503.P_AH, NC,PT651503_out, PT651503_rst);
Alarma(PT651504_Alm,LL, PT651504.pv, PT651504.P_AL, NC,PT651504_out, PT651504_rst);
Alarma(PT651505_Alm,LL, PT651505.pv, PT651505.P_AL, NC,PT651505_out, PT651505_rst);
Alarma(PT651506_Alm,HH, PT651506.pv, PT651506.P_AH, NC,PT651506_out, PT651506_rst);
Alarma(PT651507_Alm,LL, PT651507.pv, PT651507.P_AL, NC,PT651507_out, PT651507_rst);
Alarma(PT651508_Alm,HH, PT651508.pv, PT651508.P_AH, NC,PT651508_out, PT651508_rst);
Alarma(PT651509_Alm,HH, PT651509.pv, PT651509.P_AH, NC,PT651509_out, PT651509_rst);

```

Fuente: elaboración propia usando RSLogix5000

Figura 74. AOI para alarmas análogas



Fuente: elaboración propia usando RSLogix5000.

6.2. Desarrollo de HMI

En términos generales, una interfaz es el punto, el área, o la superficie a lo largo de la cual dos cosas de naturaleza distinta convergen. Por extensión, se denomina interfaz a cualquier medio que permita la interconexión de dos procesos diferenciados con un único propósito común. En *software*, una interfaz de usuario es la parte del programa informático que permite el flujo de información entre varias aplicaciones o entre el propio programa y el usuario.

Metafóricamente se entiende la Interfaz como conversación entre el usuario y el sistema. En sentido amplio, puede definirse interfaz como el conjunto de comandos y métodos que permiten la intercomunicación del programa con cualquier otro programa o elemento interno o externo. De hecho, los periféricos son controlados por interfaces.

Para un mejor entendimiento de esta acepción puede verse el siguiente ejemplo. Si se extrapola este concepto a la vida real, puede decirse que el teclado de un teléfono sería una interfaz de usuario, mientras que la antena sería la interfaz que permite al teléfono comunicarse con la central telefónica.

En *software* también se habla de interfaz gráfica de usuario, que es un método para facilitar la interacción del usuario con el ordenador o la computadora a través de la utilización de un conjunto de imágenes y objetos pictóricos (iconos, ventanas..) además de texto. Interfaz gráfica de usuario: en el contexto del proceso de interacción persona-computadora, la interfaz gráfica de usuario, es el artefacto tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la representación del lenguaje visual, una interacción amigable con un sistema informático.

La interfaz gráfica de usuario Graphical User Interface, GUI (por sus siglas en inglés) es un tipo de interfaz de usuario que utiliza un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Habitualmente, las acciones se realizan mediante manipulación directa para facilitar la interacción del usuario con la computadora.

Para el desarrollo de las pantallas o del entorno gráfico, se utilizará el *software* FactoryTalk View Studio de Rockwell. El contenido del diseño de las pantallas es muy extenso, por lo que si desea obtener el programa completo se puede solicitar a la siguiente dirección de correo electrónico: carfrangv@gmail.com.

6.2.1. Diseño de pantallas

El diseño de las pantallas se basa en los siguientes objetivos:

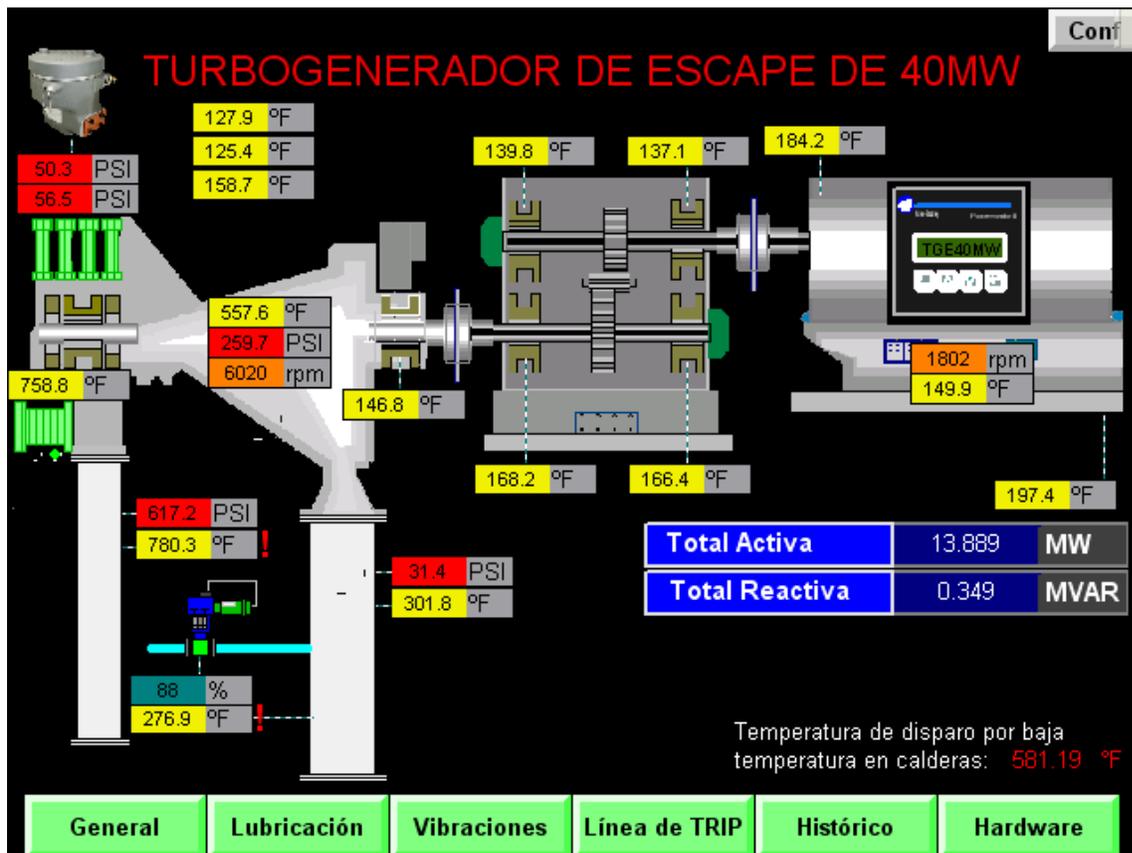
- Crear un diseño de pantallas con un entorno amigable al usuario
- Facilitar la interpretación
- Alcanzar una velocidad de refrescamiento de variables alta o que el usuario no pueda notar una demora

El entorno gráfico se divide en 6 pantallas para tener un fácil acceso a todas las variables de control:

- General: la pantalla general contiene las variables más importantes que el operador requiere monitorear continuamente. La figura 75 muestra la pantalla general. Se puede observar que las variables físicas están diferenciadas por colores, el rojo para las presiones, el amarillo para temperaturas, el naranja para velocidades, etc. La figura 75 es una imagen

tomada cuando la turbina estaba operando a aproximadamente 13.869 MW, se pueden observar las diversas temperaturas de las chumaceras, así como la presión de entrada de vapor, que en el momento que se tomó la imagen era de 617.2 PSI. La velocidad de la turbina se mantiene en 6000 rpm y debido al reductor, el generador está a 1800 rpm aproximadamente.

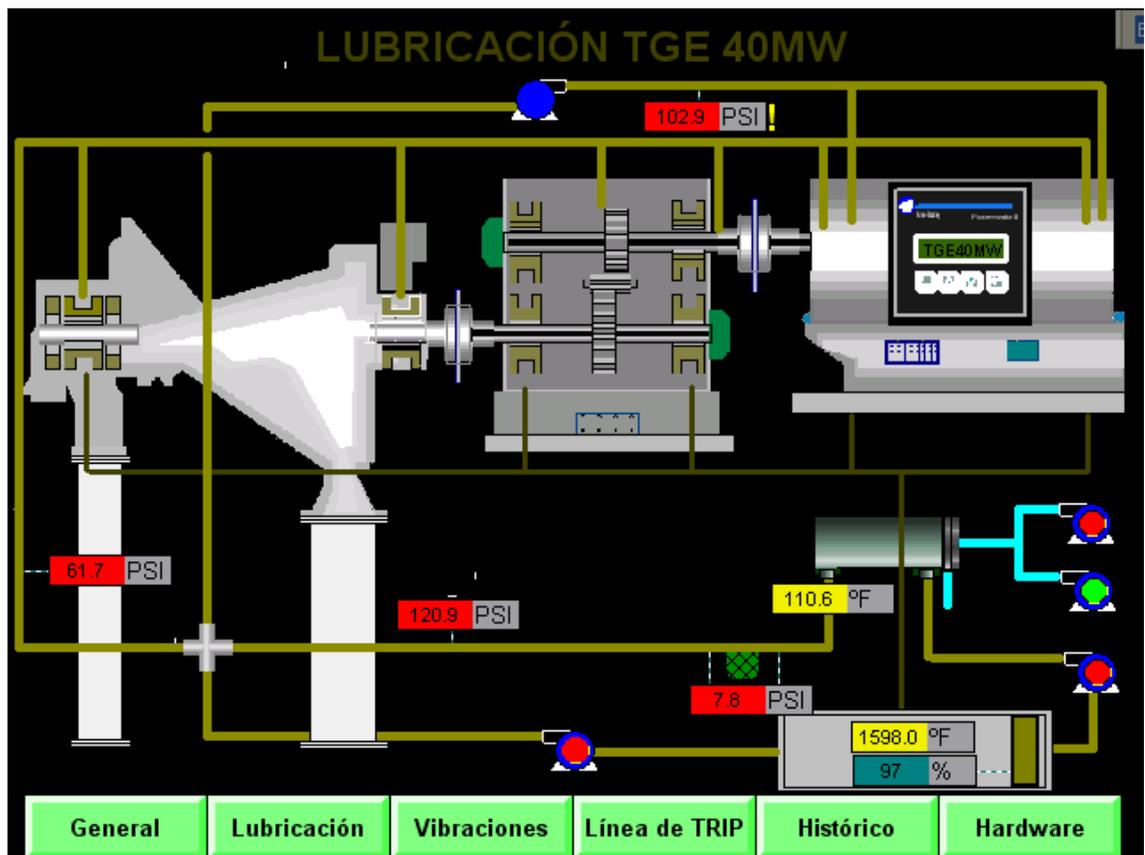
Figura 75. Pantalla general



Fuente: elaboración propia, usando FactoryTalk Machine Edition.

- Lubricación: el sistema de lubricación contiene varias variables de proceso y por ser un proceso crítico en la turbina, se crea una pantalla independiente para el monitoreo de las variables. La figura 76 muestra la pantalla de lubricación cuando la turbina está operando a 13.869 MW. Se puede observar que la bomba de enfriamiento está encendida, ya que tiene un color verde claro, al momento que la bomba de enfriamiento se apagara pasaría a rojo.

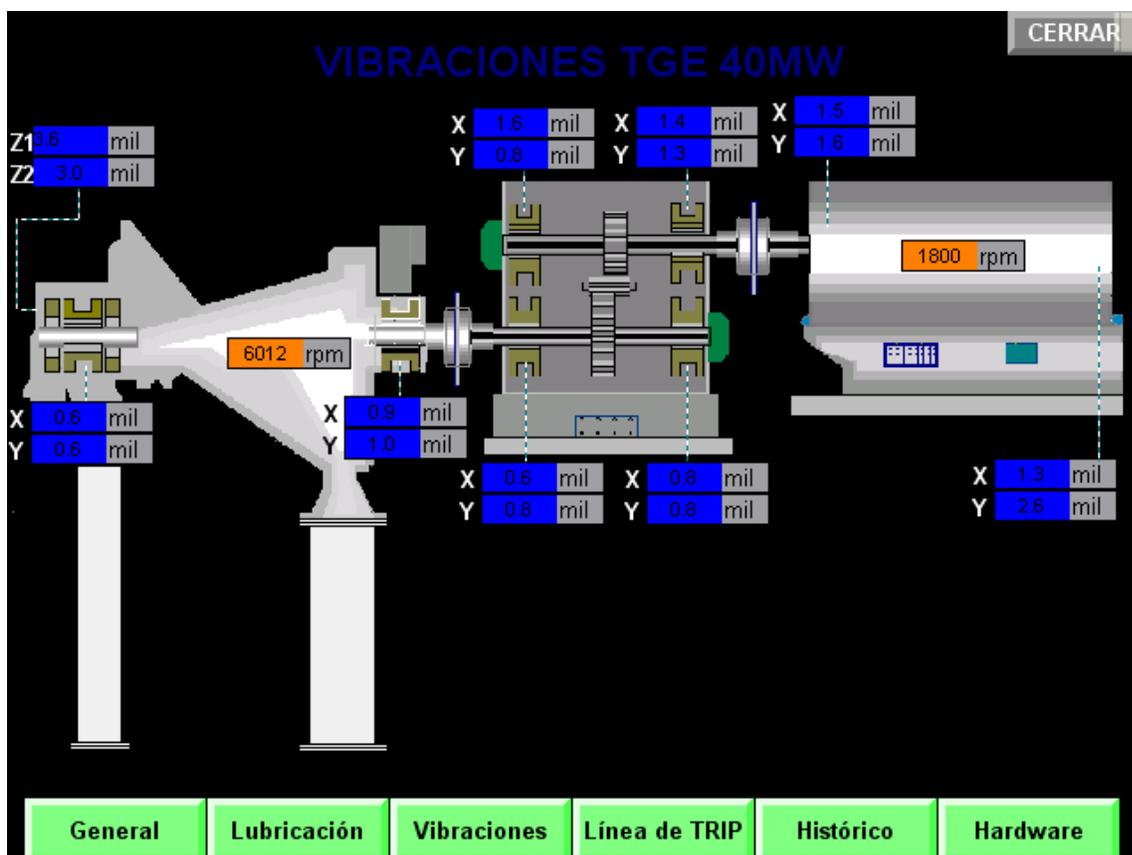
Figura 76. Pantalla de lubricación



Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

- Vibraciones: el sistema de vibraciones que se detalla en los capítulos 2.3.1, 3.2.2 y 5.6 muestra la importancia de proteger la turbina y generador en contra de vibraciones fuera de lo especificado. La figura 77 contiene las variables con unidades de ingeniería de milésimas de pulgadas, para darse una idea de lo sensible que debe ser este sistema, el cabello humano tiene aproximadamente 3 milésimas de pulgada de diámetro y en algunas chumaceras esta vibración no es tolerable y genera una alarma, especialmente en las chumaceras del generador.

Figura 77. Pantalla de sistema de vibraciones

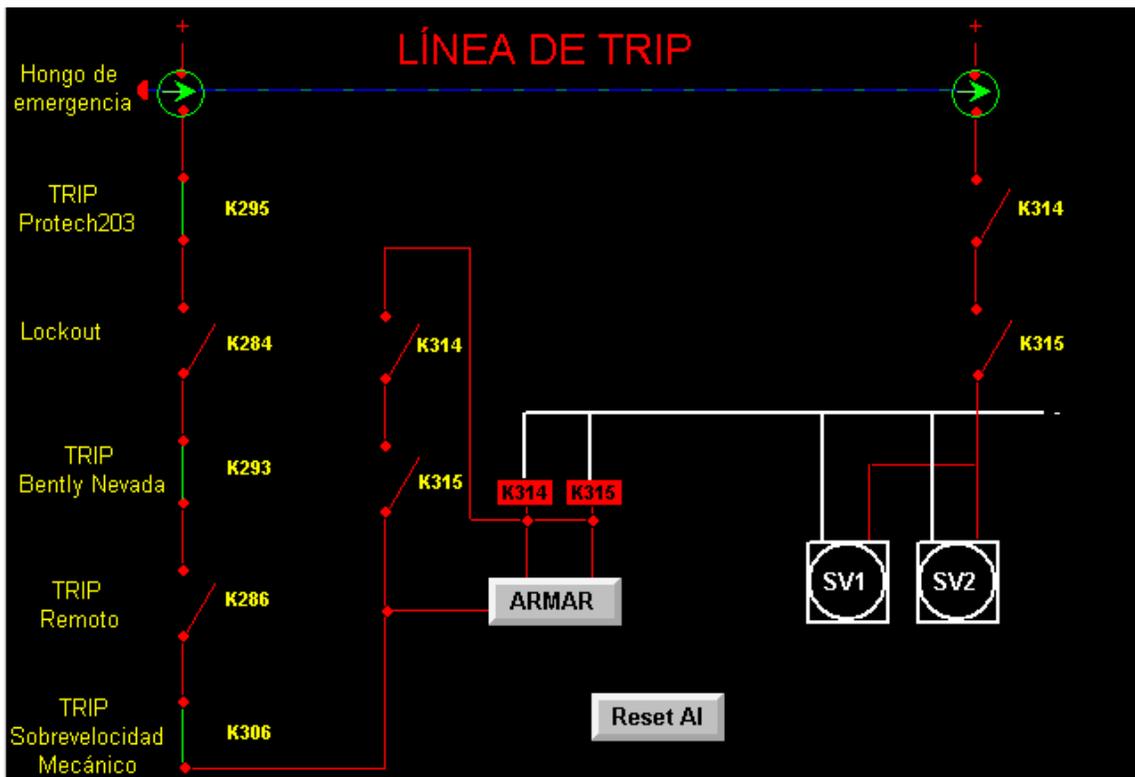


Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

La figura 77 muestra que la vibración cuando la turbina está girando a una velocidad de 6000 rpm y generando una potencia de 13.869 MW, vibra menos del diámetro de un cabello humano, los sensores de vibración deben ser muy sensibles, de lo contrario pueden dañarse partes mecánicas.

- Línea de *TRIP*: En el capítulo 2 se detalla la línea de *TRIP*; esta funciona como un circuito de varios interruptores en serie, cuando un interruptor se abre, desactiva inmediatamente las selenoides que mantienen abierta la válvula de seguridad, por lo que para la turbina.

Figura 78. Pantalla de línea de *TRIP*

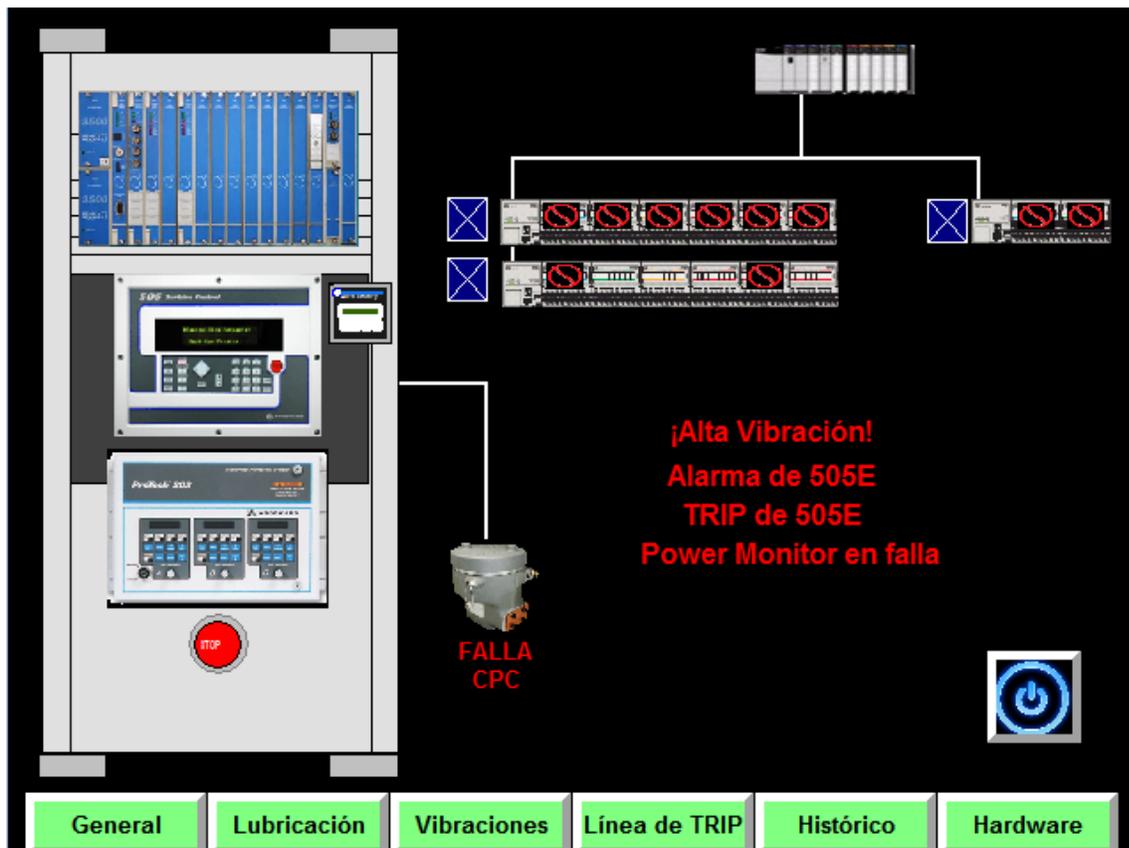


Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

La figura 79 ilustra la línea de *TRIP*; se puede observar que el interruptor lockout y el *TRIP* remoto están abiertos, esto significa que hubo un disparo y la línea resulta abierta.

- Histórico: una de las pantallas que no es importante durante la operación, pero si muy útil para la detección de fallas, es la pantalla de históricos, esta pantalla despliega el valor de todas las variables en el instante que ocurre un paro, se podría decir que toma una instantánea del momento en que la turbina se dispara y el operador puede evaluar cuál fue la razón de la falla.

Figura 79. **Pantalla de *Hardware***



Fuente: elaboración propia, usando RSLogix5000.

- *Hardware*: la pantalla de *hardware* contiene todas alarmas que se generan por fallas de algún dispositivo electrónico; además contiene botones que al presionarlos restablecen fallas en *hardware*. La figura 80 muestra la pantalla de *hardware* del sistema.

6.2.2. Conexión de TAGS al controlador

Para que el PanelView pueda leer y escribir datos en el controlador programable, es necesario crear una comunicación OPC. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura cliente-servidor. El servidor OPC es la fuente de datos, que en este caso es directamente el controlador programable, y el cliente que accederá a los datos para leer y escribir será nuestro PanelView Plus 1000.

La arquitectura OPC se basa en dos componentes principales:

- servidor OPC y
- cliente OPC.

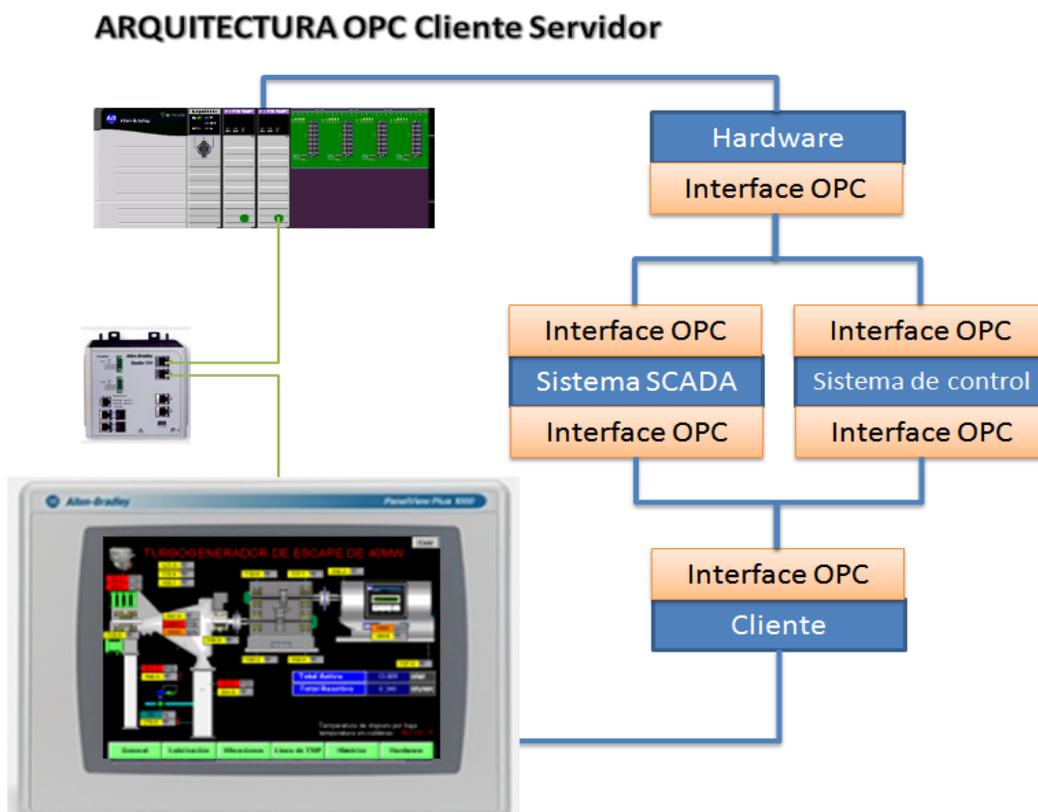
Un servidor OPC es una implementación de una interfaz OPC. Las aplicaciones utilizan los servicios del servidor OPC exclusivamente a través de la interfaz definida por OPC. El servidor OPC es el componente que ofrece métodos estandarizados.

Los clientes OPC utilizan la interfaz estandarizada del servidor OPC para acceder a los datos del proceso. En la figura 81 se puede observar la arquitectura OPC.

Para que el PanelView tenga acceso a los datos del controlador en modo de lectura y escritura, es necesario crear un tópic, el tópic utiliza la conexión

OPC para acceder a los datos del controlador; este almacena la dirección física de la base de datos del controlador, es capaz de leer y escribir al controlador. Todos los datos en el PanelView deben ser enlazados a un TAG en el controlador, ya que al haber realizado las conexiones OPC esto es posible.

Figura 80. **Arquitectura OPC**



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Microsoft Visio.

7. PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA

Previo a la puesta en marcha se realiza un chequeo completo de la lógica funcional y una revisión de todos los transmisores. Para llegar a tener éxito en el arranque, las pruebas se realizan con personal calificado, que sea capaz de verificar la correcta configuración de los transmisores y hacer un informe de resultados.

La revisión incluye una simulación de señales hacia el controlador, el técnico instrumentista debe simular las señales y poder verlas en el HMI, en caso una señal no llegue al controlador correctamente; el técnico instrumentista verifica la posible causa del problema y si no la puede resolver la anota en el informe.

El técnico instrumentista juntamente con el supervisor del proyecto, son los responsables de las pruebas previas al arranque. Las señales que se deben verificar son:

- Entradas analógicas de todos los instrumentos
- Salidas análogas hacia equipos y dispositivos
- Entradas digitales
- Salidas digitales
- RTD's

7.1. Simulación de temperaturas

La simulación de temperaturas se realizará con un Fluke 724; se deben verificar 4 puntos a lo largo de todo el rango.

Se deben tomar 5 puntos, por lo que dividimos el rango entre 4 y a este le sumamos el límite inferior, como se muestra en la ecuación 11:

$$\left[\frac{\text{Límite superior} - \text{Límite inferior}}{4} \right] \times N + \text{Límite inferior} \quad \therefore N = 0, 1, 2, 3 \text{ y } 4 \quad (11)$$

Por ejemplo se sabe que el rango de temperaturas de temperatura del vapor cambiará entre 85°F a 950°F, el rango será de 865°F, por lo que los puntos de prueba serán los siguientes:

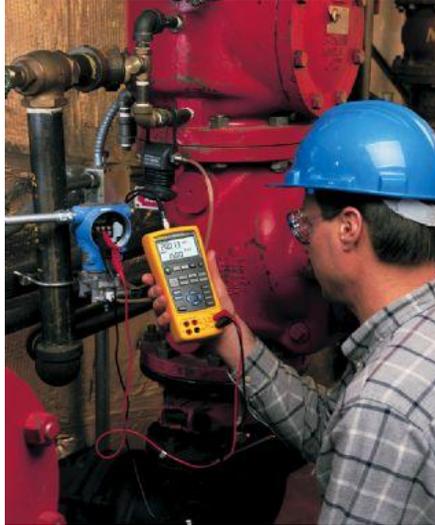
Tabla X. Prueba de sensores de temperatura

Punto de Prueba (°F)	Temperatura Simulada (°F)	Temperatura Registrada (°F)	Error (°F)
85	85.3	86	0.7
301.25	301	299.8	1.2
517.5	518	518.6	0.6
733.75	734.2	733.4	0.8
950	950.3	951	0.7

Fuente: elaboración propia, en base a Microsoft Excel.

La tabla IX ilustra los resultados obtenidos en las pruebas de simulación de temperaturas y la figura 81 muestra a un técnico instrumentista midiendo la temperatura del proceso directamente de la sonda.

Figura 81. **Técnico probando una sonda de temperatura**



Fuente: www.fluke.com. Consulta: mayo de 2011.

Para la medición de temperaturas es necesario hacer 2 pruebas, que son las siguientes:

- Simulación de temperatura desde punto de prueba a controlador, utilizando un Fluke 724.
- Simulación de temperatura utilizando un calentador certificado hacia el controlador.

El error entre la medición simulada y la medición observada dependerá de las especificaciones del usuario, para nuestro caso un error de $\pm 2^{\circ}\text{F}$ no es significativo.

7.2. Simulación de presiones

Para el caso de los transmisores de presión, ya que resulta muy complicado trasladar el equipo de calibración hacia el punto de montaje de los transmisores, se verifica y configura el rango requerido en el laboratorio de metrología y se procede a realizar un simulación de corriente desde el punto de prueba hacia el controlador; esto se realiza con el fin de detectar pérdidas de potencial en algún punto o evitar un crece entre líneas que provoquen una medida errónea.

Por ejemplo, si se quiere simular el transmisor de presión de entrada de vapor que tiene un rango de 0 PSI a 1800 PSI, se utiliza un Fluke 789, que es un multímetro de procesos capaz de simular una corriente eléctrica de 4-20mA, se coloca en la función de fuente de corriente y se realiza la simulación. La tabla X muestra los resultados obtenidos en la simulación de la presión de entrada de vapor.

Tabla XI. Simulación de presiones.

Presión de Prueba (PSI)	Corriente equivalente simulada (mA)	Presión simulada (PSI)	Presión Registrada (PSI)	Error (PSI)
0	4.01 mA	1.12	2.1	.98
900	12.01 mA	901.12	902.3	1.18
1800	20.00 mA	1800.00	1802.2	2.2

Fuente: elaboración propia, en base a el programa Microsoft Excel.

Se debe realizar el mismo procedimiento para todos los instrumentos de presión.

7.2.1. Simulación de *switchs* de presión

Es muy complicado probar el accionamiento mecánico de los switch de presión, esto se debe realizar en el laboratorio de metrología para determinar si los contactos responden correctamente.

Para probar que la señal eléctrica de los *switch* de presión, se hace un “puente” entre los contactos para cerrar el circuito, haciendo esto en el HMI debe aparecer que se ha accionado un *switch* de presión.

Realizar este procedimiento es suficiente para verificar que las señales eléctricas no están cruzadas y que no existe una ruptura del cable conductor.

7.3. Prueba de seguridades

Previo al arranque de la turbina se deben probar todas las seguridades de la misma, para poder lograr esto, el desarrollador debe simular todas las condiciones para poder simular un armado de turbina.

Una vez simuladas las condiciones se procede a realizar las pruebas. En el presente capítulo se describirán las seguridades más importantes:

- Hongo de emergencia: para probar el hongo de emergencia simplemente se debe presionar y ver que la línea de *TRIP* se abra y que la válvula de seguridad se cierre automáticamente.

- Sobrevelocidad de PROTECH: para realizar la prueba de sobrevelocidad del PROTECH es necesario montar una rueda dentada en un motor que gire arriba de 6800 rpm; los sensores se instalan de igual manera a como van montados en la turbina y se realiza la prueba; la turbina se debería desarmar a 6800 rpm y la válvulas de seguridad se debe cerrar inmediatamente. Esta prueba también se debe hacer cuando la turbina esté en marcha, pero sin carga, es decir sin estar generando energía eléctrica.
- Vibraciones y desplazamiento: el disparo por desplazamiento es fácil probarlo, se deben montar las sondas de medición como normalmente se haría, armar la turbina y después quietar uno o las dos sondas. Esto provocará que detecte un desplazamiento fuera de rango, que la línea de *TRIP* se abra y que la válvula de seguridad se cierre. Para la prueba de las vibraciones se hace un poco complicado, ya que la vibración de disparo de las chumaceras está alrededor de 5 milésimas de pulgada; por lo que es muy difícil simular una vibración de este nivel. Para solucionar este problema, se reduce la consigna de disparo y se arranca el motor de giro lento; con este la turbina gira a unas 189 rpm; la velocidad angular de giro del motor de giro lento genera una pequeña vibración que puede ser detectada por el sensor de vibración y así poder disparar o abrir la línea de *TRIP*.
- *TRIP* de relé eléctrico: para el proyecto se utilizaron relés eléctricos Multilin de General Electric, estos cuentan con un modo de prueba de disparo, por lo que simplemente se debe activar la simulación y esto debería provocar que la línea de *TRIP* se abra.

- *TRIP* de sobre velocidad mecánico: con el *TRIP* de velocidad mecánico es necesario tener la turbina en funcionamiento y llevarla a 6800 rpm para poder realizar las pruebas, esto es porque el mecanismo de funciona utilizando la fuerza centrípeta que se genera al girar la turbina. Lo que sí es posible hacer, es unir los contactos y verificar que la turbina se dispare.

Las descritas anteriormente son unas de muchas pruebas que se deben realizar para la puesta en marcha; además de las pruebas descritas es necesario realizar pruebas mecánicas y eléctricas. Estas están fuera del alcance del objetivo del presente trabajo por lo que no se ahondará en el tema.

CONCLUSIONES

1. La cogeneración en Guatemala ocupa un rubro importante dentro de la matriz de generación de energía eléctrica, que no utiliza combustibles fósiles para operar.
2. La eficiencia energética que se logra al generar energía eléctrica y calorífica por medio de la cogeneración impulsa a los ingenios azucareros a continuar invirtiendo grandes cantidades de dinero en implementación de cogeneradoras.
3. No utilizar la cogeneración en los ingenios azucareros es un error que algunos ingenios han tenido que enfrentar en el pasado y han asumido el impacto económico negativo que esto implica.
4. El uso de combustibles fósiles en plantas generadoras de energía eléctrica, ha disminuido a través de los años, debido a las exigencias de bancos internacionales prestamistas como el Banco Interamericano de Desarrollo, que ha obligado a los ingenios azucareros a buscar formas de generar energía más limpia, a cambio de facilitarles préstamos para el crecimiento de la industria.
5. En la producción con cogeneración, la planta productora utiliza la biomasa, que es un subproducto del proceso en sí, para generar energía calorífica y eléctrica, la cual una parte es utilizada para cumplir con la demanda energética, tanto calorífica como eléctrica, que la planta necesita para operar.

6. Los procedimientos de seguridad a implementar para proteger el turbogenerador son muy importantes, ya que una falla podría causar importantes pérdidas económicas y arriesgar la vida de personal operativo. Por lo tanto es muy importante que los procedimientos de seguridad funcionen correctamente.

7. En el diseño del sistema de control, se debe tener muy en cuenta la estabilidad de todo el sistema; una falla podría causar el paro inmediato de la producción de energía y esto acarrearía pérdidas económicas importantes.

RECOMENDACIONES

1. La logística para el desarrollo de cualquier proyecto de ingeniería, podría llegar a ser de cierta complejidad, la cual, en algunos casos, es una variable a la que se le debe poner bastante detalle; de lo contrario podría provocar retrasos en la fecha de puesta en marcha y generar pérdidas a los inversionistas.
2. Los tiempos de entrega del trabajo final y el presupuesto asignado, deben cumplirse a cabalidad, se admite una cierta variabilidad en el presupuesto y tiempo presupuestado, sin embargo, un exceso de más del 5%, podría considerarse bastante negativo por los inversionistas, al igual que un retraso en la entrega del proyecto. Por lo que se deben hacer los presupuestos y recursos con bastante precisión, para reducir la probabilidad de que el monto total gastado en el proyecto sea mayor al presupuestado.
3. El personal que se contrata a la hora de la ejecución del proyecto, debe estar lo suficientemente capacitado para realizar las diversas tareas del proyecto.
4. La supervisión debe ser fuerte en cada una de las tareas que se realizan, una débil supervisión podría atentar en contra de los objetivos originales del proyecto.
5. La capacitación técnica al personal, en el desarrollo del proyecto, es de valiosa importancia, ya que es un factor motivacional al personal. Al

momento de difundir conocimientos técnicos con el equipo de trabajo, el equipo tiende a comprometerse más con las tareas asignadas.

6. Los horarios de trabajo del personal se deben cumplir a cabalidad.
7. Al utilizar alta tecnología para la ejecución de proyectos de ingeniería, es importante avocarse a la documentación que el proveedor de los equipos brinda conjuntamente con estos. Esto es muy importante, ya que una mala conexión, configuración o instalación del equipo, podría provocar retrasos en la entrega del proyecto.
8. Se debe hacer un análisis exhaustivo de las posibles fallas de las máquinas que podrían causar daños en las mismas, o en el personal operativo.
9. Es conveniente hacer pruebas con un tiempo prudente, antes de la entrega final del proyecto. Las pruebas de seguridad, son de las más críticas, ya que un fallo en dichas seguridades, podría causar daños personales y materiales.
10. Durante la puesta en marcha, es recomendable que solo el personal altamente calificado, esté dentro del área de las pruebas, debido a que una negligencia de parte de un individuo, podría ser mortal para el personal alrededor o provocar daños físicos a la máquina.
11. El desarrollo de la aplicación de control del turbogenerador debe ser robusta y la interfaz gráfica del usuario debe ser muy amigable, para que el operador pueda comprender el funcionamiento de todo el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCELLS, Josep. *Interferencia electromagnética en sistemas electrónicos*. México: Alfaomega, 2006. 428 p.
2. ÁVALOS, Carlos Arturo. *Evaluación del impacto energético, socioeconómico y financiero del proceso de cogeneración en la Industria azucarera*. USAC: Biblioteca Virtual DIGI, 1997. 37 p.
3. CORNER, Douglas. *Redes globales de información con internet y TCP/IP*. México: Prentice Hall, 2000. 621 p.
4. HARPER, Enriquez. *El libro práctico de los generadores*. México: Limusa, 2004. 252 p.
5. MARTIN, Juan Carlos. *Instalación de telecomunicaciones. Técnicas Básicas: electricidad y electrónica*. México: Editex, 2010. 176 p.
6. MORAN, Michael J. *Fundamentos de termodinámica técnica*. 2a ed. España: Reverté, 2004. 888 p.
7. SMITH, Joseph Mauk. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2001. 836 p.

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
39	✓	Cableado	3 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
40	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
41	✓	Temperatura de entrada de vapor	11 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
42	✓	Tubería	6 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
43	✓	Cableado	3 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
44	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
45	✓	Temperatura carcasa válvula de regulaje	11 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
46	✓	Tubería	6 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
47	✓	Cableado	3 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
48	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
49	✓	Velocidad de giro	11 hrs	Fri 11/27/09	Sat 11/28/09
50	✓	Tubería	6 hrs	Fri 11/27/09	Sat 11/28/09
51	✓	Cableado	3 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
52	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
53	✓	Temperatura carcasa de la tubería	11 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
54	✓	Tubería	6 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
55	✓	Cableado	3 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
56	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
57	✓	Nivel de tanque de aceite	11 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
58	✓	Tubería	6 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
59	✓	Cableado	3 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
60	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
61	✓	Temperatura de vapor de escape después del atemperador	11 hrs	Tue 12/1/09	Wed 12/2/09
62	✓	Tubería	6 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09
63	✓	Cableado	3 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09
64	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
65	✓	Temperatura vapor de escape	11 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
66	✓	Tubería	6 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
67	✓	Cableado	3 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
68	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
69	✓	Temperatura de aceite después del enfriador	11 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
70	✓	Tubería	6 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
71	✓	Cableado	3 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
72	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
73	✓	Temperatura cojinete radial turbina L.N.A.	11 hrs	Fri 12/4/09	Sat 12/5/09
74	✓	Tubería	6 hrs	Fri 12/4/09	Sat 12/5/09
75	✓	Cableado	3 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
76	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
39	✓	Cableado	3 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
40	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
41	✓	Temperatura de entrada de vapor	11 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
42	✓	Tubería	6 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
43	✓	Cableado	3 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
44	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
45	✓	Temperatura carcasa válvula de regulaje	11 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
46	✓	Tubería	6 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
47	✓	Cableado	3 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
48	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
49	✓	Velocidad de giro	11 hrs	Fri 11/27/09	Sat 11/28/09
50	✓	Tubería	6 hrs	Fri 11/27/09	Sat 11/28/09
51	✓	Cableado	3 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
52	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
53	✓	Temperatura carcasa de la tubería	11 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
54	✓	Tubería	6 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
55	✓	Cableado	3 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
56	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
57	✓	Nivel de tanque de aceite	11 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
58	✓	Tubería	6 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
59	✓	Cableado	3 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
60	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
61	✓	Temperatura de vapor de escape después del atemperador	11 hrs	Tue 12/1/09	Wed 12/2/09
62	✓	Tubería	6 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09
63	✓	Cableado	3 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09
64	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
65	✓	Temperatura vapor de escape	11 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
66	✓	Tubería	6 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
67	✓	Cableado	3 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
68	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
69	✓	Temperatura de aceite después del enfriador	11 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
70	✓	Tubería	6 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
71	✓	Cableado	3 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
72	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
73	✓	Temperatura cojinete radial turbina L.N.A.	11 hrs	Fri 12/4/09	Sat 12/5/09
74	✓	Tubería	6 hrs	Fri 12/4/09	Sat 12/5/09
75	✓	Cableado	3 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
76	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09

Continuación anexo 1.:

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
77	✓	Temperatura cojinete externo	11 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09
78	✓	Tubería	6 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09
79	✓	Cableado	3 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
80	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
81		Temperatura cojinete interno	11 hrs	Sun 12/6/09	Mon 12/7/09
82	✓	Tubería	6 hrs	Sun 12/6/09	Mon 12/7/09
83	✓	Cableado	3 hrs	Mon 12/7/09	Mon 12/7/09
109		Alarmas de TRIP	187 hrs	Mon 11/23/09	Sun 12/13/09
110	✓	Trip de emergencia	11 hrs	Mon 11/23/09	Tue 11/24/09
111	✓	Tubería	6 hrs	Mon 11/23/09	Mon 11/23/09
112	✓	Cableado	3 hrs	Mon 11/23/09	Tue 11/24/09
113	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
114	✓	Trip turbina en sobrevelocidad	11 hrs	Tue 11/24/09	Wed 11/25/09
115	✓	Tubería	6 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
116	✓	Cableado	3 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
117	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
118	✓	Trip de vibración y desplazamiento	11 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
119	✓	Tubería	6 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
120	✓	Cableado	3 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
121	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
122	✓	Trip 1 turbina	11 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
123	✓	Tubería	6 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
124	✓	Cableado	3 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
125	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
126	✓	Trip 2 turbina	11 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
127	✓	Tubería	6 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
128	✓	Cableado	3 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
129	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
130	✓	Trip 1 generador	11 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
131	✓	Tubería	6 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
132	✓	Cableado	3 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
133	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
134	✓	Trip 2 generador	11 hrs	Mon 11/30/09	Tue 12/1/09
135	✓	Tubería	6 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
136	✓	Cableado	3 hrs	Mon 11/30/09	Tue 12/1/09
137	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09
138	✓	Trip 1 remoto	11 hrs	Tue 12/1/09	Wed 12/2/09
139	✓	Tubería	6 hrs	Tue 12/1/09	Tue 12/1/09

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
140	✓	Cableado	3 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
141	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
142	✓	Trip 2 remoto	11 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
143	✓	Tubería	6 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
144	✓	Cableado	3 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
145	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
146	✓	Trip 1 de vibración bently nevada	11 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
147	✓	Tubería	6 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
148	✓	Cableado	3 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
149	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
150	✓	Trip 2 de vibración bently nevada	11 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09
151	✓	Tubería	6 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
152	✓	Cableado	3 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
153	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09
154	✓	Trip de gobernador 505	11 hrs	Sun 12/6/09	Mon 12/7/09
155	✓	Tubería	6 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
156	✓	Cableado	3 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
157	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 12/7/09	Mon 12/7/09
158	✓	Trip de alta presión de escape PSHH	11 hrs	Mon 12/7/09	Tue 12/8/09
159	✓	Tubería	6 hrs	Mon 12/7/09	Mon 12/7/09
178		Alarmas	99 hrs	Mon 11/23/09	Thu 12/3/09
179	✓	Alarma de protech	11 hrs	Mon 11/23/09	Tue 11/24/09
180	✓	Tubería	6 hrs	Mon 11/23/09	Mon 11/23/09
181	✓	Cableado	3 hrs	Mon 11/23/09	Tue 11/24/09
182	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
183	✓	Alarma de sistema de vibración y desplazamiento	11 hrs	Tue 11/24/09	Wed 11/25/09
184	✓	Tubería	6 hrs	Tue 11/24/09	Tue 11/24/09
185	✓	Cableado	3 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
186	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
187	✓	Alarma de gobernador 505	11 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
188	✓	Tubería	6 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
189	✓	Cableado	3 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
190	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
191	✓	Excitador liberado 90% rpm alarma 1	11 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
192	✓	Tubería	6 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
193	✓	Cableado	3 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
194	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
195	✓	Excitador liberado 90% rpm alarma 2	11 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09

Continuación anexo 1..

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
196	✓	Tubería	6 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
197	✓	Cableado	3 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
198	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
199	✓	Desarme de emergencia	11 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
200	✓	Tubería	6 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
201	✓	Cableado	3 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
202	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
203		Reset de vibraciones bently nevada	11 hrs	Mon 11/30/09	Tue 12/1/09
204	✓	Tubería	6 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
215		Switch	66 hrs	Wed 11/18/09	Wed 11/25/09
216	✓	Switch desarme de turbina por alta presión de escape	11 hrs	Wed 11/18/09	Thu 11/19/09
217	✓	Tubería	6 hrs	Wed 11/18/09	Wed 11/18/09
218	✓	Cableado	3 hrs	Wed 11/18/09	Thu 11/19/09
219	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/19/09	Thu 11/19/09
220	✓	Switch desarme de turbina por baja presión de lubricación	11 hrs	Thu 11/19/09	Fri 11/20/09
221	✓	Tubería	6 hrs	Thu 11/19/09	Thu 11/19/09
222	✓	Cableado	3 hrs	Fri 11/20/09	Fri 11/20/09
223	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/20/09	Fri 11/20/09
224	✓	Switch de bloqueo de variador	11 hrs	Fri 11/20/09	Sat 11/21/09
225	✓	Tubería	6 hrs	Fri 11/20/09	Sat 11/21/09
226	✓	Cableado	3 hrs	Sat 11/21/09	Sat 11/21/09
227	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/21/09	Sat 11/21/09
228	✓	Switch de desarme por baja presión de elevación del rotor	11 hrs	Sat 11/21/09	Sun 11/22/09
229	✓	Tubería	6 hrs	Sat 11/21/09	Sun 11/22/09
230	✓	Cableado	3 hrs	Sun 11/22/09	Sun 11/22/09
231	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 11/22/09	Sun 11/22/09
240		Trip	68 hrs	Wed 11/25/09	Wed 12/2/09
241	✓	Trip de generador	7 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
242	✓	Tubería	3 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
243	✓	Cableado	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
244	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 11/25/09	Wed 11/25/09
245	✓	Trip remoto	7 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
246	✓	Tubería	3 hrs	Wed 11/25/09	Thu 11/26/09
247	✓	Cableado	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
248	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
249	✓	Trip alta presión de escape	7 hrs	Thu 11/26/09	Fri 11/27/09
250	✓	Tubería	3 hrs	Thu 11/26/09	Thu 11/26/09
251	✓	Cableado	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
252	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
253	✓	Trip de generador	7 hrs	Fri 11/27/09	Sat 11/28/09
254	✓	Tubería	3 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
255	✓	Cableado	2 hrs	Fri 11/27/09	Fri 11/27/09
256	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
257	✓	Trip alta presión de escape	7 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
258	✓	Tubería	3 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
259	✓	Cableado	2 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
260	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 11/28/09	Sat 11/28/09
261	✓	Trip baja presión de aceite	7 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
262	✓	Tubería	3 hrs	Sat 11/28/09	Sun 11/29/09
263	✓	Cableado	2 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
264	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
265	✓	Trip presión muy baja de aceite PSL	7 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
266	✓	Tubería	3 hrs	Sun 11/29/09	Sun 11/29/09
267	✓	Cableado	2 hrs	Sun 11/29/09	Mon 11/30/09
268	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 11/30/09	Mon 11/30/09
280		Señales de control	82 hrs	Wed 12/2/09	Fri 12/11/09
281	✓	Reset de woodward	7 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
282	✓	Tubería	3 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
283	✓	Cableado	2 hrs	Wed 12/2/09	Wed 12/2/09
284	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Wed 12/2/09	Thu 12/3/09
285	✓	Subir velocidad	7 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
286	✓	Tubería	3 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
287	✓	Cableado	2 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
288	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Thu 12/3/09	Thu 12/3/09
289	✓	Bajar velocidad	7 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
290	✓	Tubería	3 hrs	Thu 12/3/09	Fri 12/4/09
291	✓	Cableado	2 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
292	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
293	✓	Parte turbina	7 hrs	Fri 12/4/09	Sat 12/5/09
294	✓	Tubería	3 hrs	Fri 12/4/09	Fri 12/4/09
295	✓	Cableado	2 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
296	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
297	✓	Disyuntor generador	7 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09
298	✓	Tubería	3 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
299	✓	Cableado	2 hrs	Sat 12/5/09	Sat 12/5/09
300	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sat 12/5/09	Sun 12/6/09

Continuación anexo 1..

ID		31-08-09	Duration	Start	Finish
301	✓	Salida permitida	7 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
302	✓	Tubería	3 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
303	✓	Cableado	2 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
304	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Sun 12/6/09	Sun 12/6/09
305	✓	Habilitar sincronización	7 hrs	Sun 12/6/09	Mon 12/7/09
306	✓	Tubería	3 hrs	Sun 12/6/09	Mon 12/7/09
307	✓	Cableado	2 hrs	Mon 12/7/09	Mon 12/7/09
308	✓	Instalación y conexión	2 hrs	Mon 12/7/09	Mon 12/7/09
328		Instalación de Bentley Nevada	2195 hrs	Tue 5/26/09	Wed 1/13/10
329	✓	Montaje	16 hrs	Mon 1/4/10	Tue 1/5/10
330	✓	Tubería para sensores	32 hrs	Tue 1/5/10	Sat 1/9/10
333	✓	Cableado	8 hrs	Tue 1/12/10	Wed 1/13/10

Fuente: Microsoft Project.

Armario: AR 1.1

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO: A&B 1794 IE8			MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO: FLEX I/O, 8 AIN			DIRECCIÓN IP: 10.60.3.176		SISTEMA:
SLOT: 0 (LAIN-1A)			TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	4/20 mA	0 - 1800	psig	PT651501	Presión de entrada de vapor
01	4/20 mA	0 - 50	psig	PT651502	Presión de vapor de escape
02	4/20 mA	0 - 1200	psig	PT651503	Presión de vapor en cámara de rueda
03	4/20 mA	0 - 114	psig	PT651504	Presión de aceite P3
04	4/20 mA	0 - 228	psig	PT651505	Presión de aceite P1
05	4/20 mA	0 - 29	psig	PT651506	Presión diferencial filtro de aceite
06	4/20 mA	0 - 116	psig	PT651507	Presión de aceite de lubricación general
07	4/20 mA	0 - 3413	psig	PT651508	Presión de aceite de elevación del rotor

Armario: AR 1.1

Situación: 0

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO: A&B 1794 IE8			MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO: FLEX I/O, 8 AIN			DIRECCIÓN IP: 10.60.3.176		SISTEMA:
SLOT: 1 (LAIN-1B)			TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	4/20 mA	32 - 1900	°F	TT651501	Temperatura de entrada de vapor
01	4/20 mA	0 - 1600	°F	TT651502	Temperatura carcasa válvula de regulaje
02	4/20 mA	32 - 1400	°F	TT651503	Temperatura carcasa de la tubería
03	4/20 mA		rpm	ST651501	Velocidad de turbogenerador de escape
04	4/20 mA	0 - 100	%	LT651501	Nivel de tanque de aceite

05	4/20 mA		mil	ZT651401	Desplazamiento axial 1
06	4/20 mA		mil	ZT651402	Desplazamiento axial 2
07	4/20 mA			KPH651501	Posición angular lado de turbina

Armario: AR 21.11

Situación: Turbo de escape 40MW

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO:	A&B 1794 IE8		MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO:	FLEX I/O, 8 AIN		DIRECCIÓN IP: 10.60.3.176		SISTEMA:
SLOT:	2 (LAIN-1C)		TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	4/20 mA			XT651401	Vibración radial eje de alta L.N.A. X
01	4/20 mA			YT651401	Vibración radial eje de alta L.N.A. Y
02	4/20 mA			XT651402	Vibración radial eje de alta L.A. X
03	4/20 mA			YT651402	Vibración radial eje de alta L.A. Y
04	4/20 mA			XT651403	Vibración radial reductor eje de alta L.A. X
05	4/20 mA			YT651403	Vibración radial reductor eje de alta L.A. Y
06	4/20 mA			XT651404	Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. X
07	4/20 mA			YT651404	Vibración radial reductor eje de alta L.N.A. Y

Continuación anexo 2

Armario: AR 1.1

Situación: 0

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO: A&B 1794 IE8			MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO: FLEX I/O, 8 AIN			DIRECCION IP: 10.60.3.176		SISTEMA:
SLOT: 3 (LAIN-1D)			TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	4/20 mA			XT651405	Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. X
01	4/20 mA			YT651405	Vibración radial reductor eje de baja L.N.A. Y
02	4/20 mA			XT651406	Vibración radial reductor eje de baja L.A. X
03	4/20 mA			YT651406	Vibración radial reductor eje de baja L.A. Y
04	4/20 mA			XT651407	Vibración radial eje de generador L.A. X
05	4/20 mA			YT651407	Vibración radial eje de generador L.A. Y
06	4/20 mA			XT651408	Vibración radial eje de generador L.N.A. X
07	4/20 mA			YT651408	Vibración radial eje de generador L.N.A. Y

Continuación anexo 2

174

Armario: AR 1.1

Situación: 0

MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO: A&B 1794 IB32			MODELO: 1794 - AENT		MODELO: 0
TIPO: FLEX I/O, 16 DIN			DIRECCIÓN IP: 10.60.3.176		SISTEMA: 0
SLOT: 4 (LDIN-2B)			TAMAÑO: 6 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO		TAG	DESCRIPCIÓN
00	+24Vdc	0/1	5.8 - 58 psig	PSH651501	Switch desarme de turbina por ALTA PRESION DE ESCAPE
01	+24Vdc	0/1	5.8 - 58 psig	PSL651501	Switch desarme de turbina por baja presión de lubricación
02	+24Vdc	0/1	8.6 - 86 psig	ZS651501	Switch de bloqueo de bomba de elevación del rotor
03	+24Vdc	0/1	29 - 2900	ZS651502	Switch de bloqueo de variador

04	+24Vdc	0/1	5.8 - 58	PSL651502	Switch de desarme por baja presión de aceite
05	+24Vdc	0/1	20.3 - 203	ZS651503	Switch de arranque de bomba auxiliar
06	+24Vdc	0/1	-	ZSA651501	Fin de carrera válvula de cierre rápido apertura abierta
07	+24Vdc	0/1		53.02	Fin de carrera de bloqueo de variador
08	+24Vdc	0/1	-	ZSF651501	<i>Trip</i> de emergencia
09	+24Vdc	0/1		ZSF651502	<i>Trip</i> turbina en sobre velocidad
10	+24Vdc	0/1		ZSF651503	<i>Trip</i> de vibración y desplazamiento
11	+24Vdc	0/1		ZSF651504	<i>Trip</i> turbina 1
12	+24Vdc	0/1		ZSF651505	<i>Trip</i> turbina 2
13	+24Vdc	0/1		ZSF651506	<i>Trip</i> de generador
14	+24Vdc	0/1		ZSF651507	<i>Trip</i> de generador
15	+24Vdc	0/1		ZSF651508	<i>Trip</i> remoto
16	+24Vdc	0/1		ZSF651509	<i>Trip</i> remoto
17	+24Vdc	0/1		ZSF651510	<i>Trip</i> de vibración bently nevada
18	+24Vdc	0/1		ZSF651511	<i>Trip</i> de vibración bently nevada
19	+24Vdc	0/1		ZSF651512	<i>Trip</i> de gobernador 505
20	+24Vdc	0/1			No cableada
21	+24Vdc	0/1			No cableada
22	+24Vdc	0/1			No cableada
23	+24Vdc	0/1			No cableada
24	+24Vdc	0/1			No cableada
25	+24Vdc	0/1			No cableada
26	+24Vdc	0/1			No cableada
27	+24Vdc	0/1			No cableada
28	+24Vdc	0/1			No cableada
29	+24Vdc	0/1			No cableada
30	+24Vdc	0/1			No cableada
31	+24Vdc	0/1			No cableada

Continuación anexo 2

Continuación anexo 2.

Armario: AR 1.1

Situación: 0

MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MÁSTER
MODELO: A&B 1794 OB32			MODELO: 1794 - AENT		MODELO: 0
TIPO: FLEX I/O, 16 DIN			DIRECCIÓN IP: 10.60.3.176		SISTEMA: 0
SLOT: 5 (LDOUT-2F)			TAMAÑO: 6 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	+24Vdc	0/1		CTR651501	Reset de Woodward de turbogenerador de escape de 40MW
01	+24Vdc	0/1		CTR651502	Subir velocidad al turbogenerador de escape de 40MW
02	+24Vdc	0/1		CTR651503	Bajar velocidad al turbogenerador de escape de 40MW
03	+24Vdc	0/1		CTR651504	Reserva 1
04	+24Vdc	0/1		CTR651505	Reserva 2
05	+24Vdc	0/1		CTR651506	Reserva 3
06	+24Vdc	0/1		CTR651507	Parte turbina
07	+24Vdc	0/1		CTR651508	Disyuntor del generador
08	+24Vdc	0/1		CTR651509	Salida permitida
09	+24Vdc	0/1		CTR651510	Habilitar sincronización
10	+24Vdc	0/1		CTR651511	Reserva 8
11	+24Vdc	0/1		CTR651512	Reserva 9
12	+24Vdc	0/1		CTR651513	Reserva 10
13	+24Vdc	0/1		CTR651514	Reserva 11
14	+24Vdc	0/1		CTR651515	Reserva 12
15	+24Vdc	0/1		ZSO651501	Trip de generador
16	+24Vdc	0/1		ZSO651502	Trip Remoto
17	+24Vdc	0/1		CLX651501	Sirena
18	+24Vdc	0/1		CTR651516	Reset protech 203
19	+24Vdc	0/1		CTR651517	Reset bently nevada

Continuación anexo 2

20	+24Vdc	0/1		ZSO651503	Trip alta presión de escape
21	+24Vdc	0/1		ZSO651504	Trip Baja presión de aceite
22	+24Vdc	0/1		ZSO651505	Trip presión muy baja de aceite PSL
23	+24Vdc	0/1		ZSO651506	Trip sobre velocidad mecánico
24	+24Vdc	0/1		ZSO651507	Trip A
25	+24Vdc	0/1		ZSO651508	Trip B
26	+24Vdc	0/1		ZSO651509	Rearmar Turbina
27	+24Vdc	0/1		CTR651518	Bloqueo de bomba de elevación del rotor
28	+24Vdc	0/1			
29	+24Vdc	0/1			
30	+24Vdc	0/1			
31	+24Vdc	0/1			

Continuación anexo 2

Armario: AR 1.2

Situación: 0

MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MASTER
MODELO: A&B 1794 OE4			MODELO: 1794 - AENT		MODELO: 0
TIPO: FLEX I/O, 4 AOUT			DIRECCION IP: 10.60.3.177		SISTEMA: 0
SLOT: 0 (LAOUT-2A)			TAMAÑO: 6 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCION
00	4/20 mA	0/100	%	FV651501	Válvula de atemperación de la línea de escape
01	4/20 mA	0/100	%	WR651501	Repetición de potencia 1 a Woodward
02	4/20 mA	0/100	%	WR651502	Repetición de potencia 2 a Woodward
03	4/20 mA	0/100	%		

Armario: AR 1.2

Situación: 0

MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MÁSTER
MODELO: A&B 1794 IB16 TIPO: FLEX I/O, 16 DIN SLOT: 1 (LDIN-2D)			MODELO: 1794 - AENT DIRECCIÓN IP: 10.60.3.177 TAMAÑO: 6 SLOTS		MODELO: 0 SISTEMA: 0 CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	+24Vdc	0/1		ZSF651513	Trip de alta presión de escape PSHH
01	+24Vdc	0/1		ZSF651514	Trip baja presión de aceite PSLI
02	+24Vdc	0/1		ZSF651515	Trip muy baja presión de aceite
03	+24Vdc	0/1		ZSF651516	Trip sobre velocidad mecánico
04	+24Vdc	0/1		ZSF651517	Trip sobre velocidad del protech
05	+24Vdc	0/1		FLL651501	Fallo de fuentes de alimentación a CPC
06	+24Vdc	0/1		FLL651502	Fallo de fuentes de alimentación de equipos de control
07	+24Vdc	0/1		FLL651503	Falla de CPC 1
08	+24Vdc	0/1		FLL651504	Falla de CPC 2
09	+24Vdc	0/1		ZAM651501	Alarma de protech
10	+24Vdc	0/1		ZAM651502	Alarma de sistema de vibración y desplazamiento
11	+24Vdc	0/1		ZAM651503	Alarma de gobernador 505
12	+24Vdc	0/1		ZAM651504	Excitador liberado 90% rpm
13	+24Vdc	0/1		ZAM651505	Excitador liberado 90% rpm
14	+24Vdc	0/1		ZAM651506	Desarme de emergencia
15	+24Vdc	0/1		ZAM651507	Reset vibraciones bently nevada

Continuación anexo 2

Armario: AR 1.2

Situación: 0

MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES					
MÓDULO DE E/S			SLAVE		MÁSTER
MODELO: A&B 1794 IB16 TIPO: FLEX I/O, 16 DIN SLOT: 2 (LDIN-2E)			MODELO: 1794 - AENT DIRECCIÓN IP: 10.60.3.177 TAMAÑO: 6 SLOTS		MODELO: 0 SISTEMA: 0 CANAL: A
CANAL	SEÑAL	RANGO	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	+24Vdc	0/1		ZSI651501	Confirmación de marcha bomba de drenaje
01	+24Vdc	0/1		ZSR651501	Local remoto bomba de aceite de emergencia
02	+24Vdc	0/1		ZSI651502	Confirmación de marcha bomba de aceite de emergencia
03	+24Vdc	0/1		ZSR651502	Local remoto bomba de aceite auxiliar
04	+24Vdc	0/1		ZSI651503	Confirmación de marcha bomba de aceite auxiliar
05	+24Vdc	0/1		ZSI651504	Confirmación de marcha bomba de descarga de niebla
06	+24Vdc	0/1		ZSI651505	Confirmación de marcha motor de descarga de envoltura 2
07	+24Vdc	0/1		ZSI651506	Confirmación de marcha bomba de elevación del rotor
08	+24Vdc	0/1		ZAM651508	Fin de carrera de válvula de cierre rápido
09	+24Vdc	0/1		ZAM651509	Fin de carrera de válvula de cierre rápido
10	+24Vdc	0/1			
11	+24Vdc	0/1			
12	+24Vdc	0/1			
13	+24Vdc	0/1			
14	+24Vdc	0/1			
15	+24Vdc	0/1			

Continuación anexo 2

179

Armario: AR 2.1

Situación: Turbo de escape 40MW

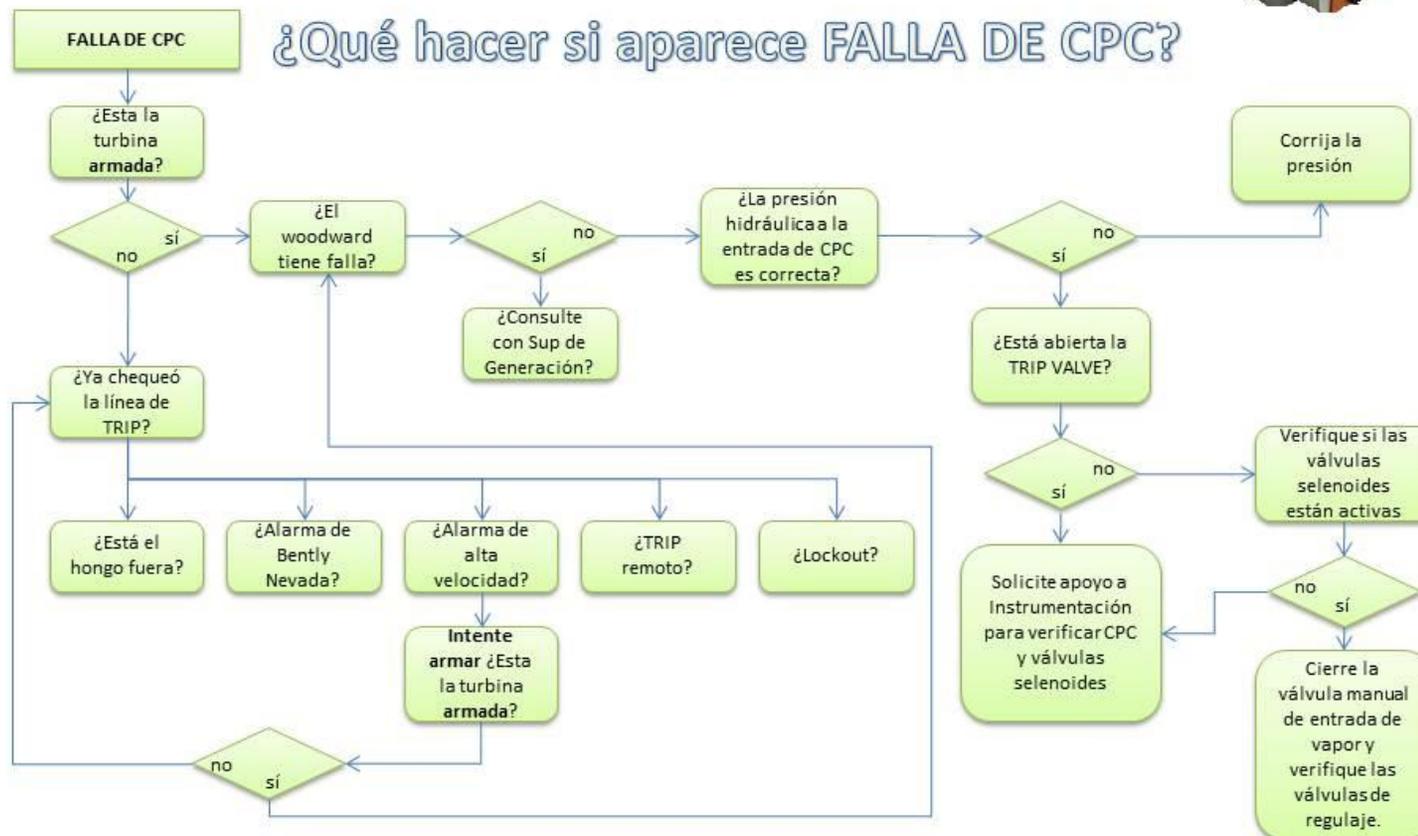
MÓDULO DE TERMORESISTENCIAS				
MÓDULO DE E/S		SLAVE		MÁSTER
MODELO: 1794-IR8/A FLEX I/O, 8		MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO: RTD		DIRECCIÓN IP: 10.60.3.178		SISTEMA:
SLOT: 0 (RTD-1A)		TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	RTD	°F	TT651505	Temperatura Tanque de Aceite
01	RTD	°F	TT651506	Temperatura aceite después enfriador aceite
02	RTD	°F	TT651507	Temperatura aceite antes enfriador aceite
03	RTD	°F	TT651508	Temperatura metal cojinete radial turbina LNA
04	RTD	°F	TT651509	Temperatura metal cojinete axial exterior turbina
05	RTD	°F	TT651510	Temperatura metal cojinete axial interior turbina
06	RTD	°F	TT651511	Temperatura metal cojinete radial turbina LA
07	RTD	°F	TT651512	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje alta LNA

Armario: AR 2.1

Situación: Turbo de escape 40MW

MÓDULO DE TERMORESISTENCIAS				
MÓDULO DE E/S		SLAVE		MASTER
MODELO: 1794-IR8/A FLEX I/O, 8		MODELO: 1794 - AENT		MODELO:
TIPO: AIN		DIRECCIÓN IP: 10.60.3.178		SISTEMA:
SLOT: 1 (RTD-1B)		TAMAÑO: 4 SLOTS		CANAL: A
CANAL	SEÑAL	Uds	TAG	DESCRIPCIÓN
00	RTD	°F	TT651513	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje alta LA
01	RTD	°F	TT651514	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje baja LNA
02	RTD	°F	TT651515	Temperatura aceite cojinete reduct. Eje baja LA
03	TC	°F	TT651504	Temperatura después de atemperador

- **CPC:** el CPC es un dispositivo que convierte una corriente eléctrica en una presión hidráulica. El objetivo del CPC es controlar las válvulas de regulaje de admisión de vapor. El encargado de enviarle la corriente al CPC, es el 505E (Woodward) por medio de una señal de 4-20mA, esta señal de 4-20 mA regula una presión hidráulica de aproximadamente 2 – 6 bares, la cual es capaz de abrir o cerrar las válvulas de regulaje.



- **Power Monitor 3000:** el Power monitor 3000 es un medidor de energía. Por medio de PT's y CT's es capaz de tomar medidas de Potencia, Voltajes, Corrientes, calidad de energía, etc. El objetivo del PM3000 es monitorear las variables mencionadas y además, es el encargado de enviarle la potencia al 505E (woodward) ya que al 505E se le debe indicar a qué potencia se encuentra el generador. Se utilizan 2 salidas de 4-20 mA que salen de la caja remota, estas señales las interpreta el 505E como potencia actual y cascada, en un rango de 0 a 5 MW.



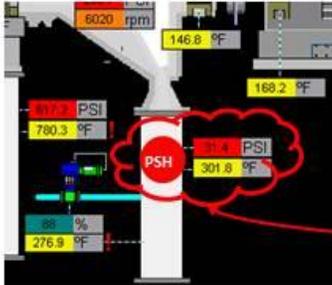
Continuación anexo 3.



CUIDADO!!! Si el PM3000 deja de enviar la Potencia del turbogenerador, se debe pasar la turbina a Manual, y monitorear la potencia visualmente en el display del PM3000 o en ION y llamar al supervisor de Automatización. No le crea a la indicación de potencia del 505E, siempre revisar la potencia que se indica en el display del PM3000 o la potencia que indica el ION.

¿Qué hacer si tiene problemas con la medición de potencia en el 505E?





- Si aparece este símbolo en algún lugar, significa que se ha activado algún *switch* de presión, ya sea por baja o alta presión. Para quitar la alarma debe corregir el problema y presionar sobre la imagen  para reiniciar la alarma. Al presionar el botón y si se ha corregido el problema, esta imagen se debería desaparecer, de lo contrario no la quitará, hasta que corrija el problema.



- Esta es la visualización de la válvula de atemperación de vapor de escape, el *set point* de la temperatura esta en función de la tabla de vapor saturado, es tal que no permite que el vapor llegue a un punto de saturación (punto en el que el vapor se convierte en agua) ni tampoco permite que la temperatura suba demasiado, para evitar daños en equipos del área de tratamiento.



- Esta es la pantalla de **la línea de TRIP**, si existe algún problema, esta se abre y provoca que las válvulas selenoides SV1 y SV2 se desactiven y la TRIP VALVE se cierre inmediatamente, esto evitará que ingrese vapor a la turbina y la turbina se detendrá.



- Primero se encuentra el hongo de emergencia, este hongo de emergencia está ubicado frente al panel de control de instrumentación, al momento que se presiona inmediatamente, abre la línea de Trip y se desactivan las válvulas selenoides y por lo tanto la TRIP VALVE se cierra automáticamente.



- TRIP DE PROTECH203: este es el TRIP de seguridad por alta velocidad, el PROTECH203 utiliza 3 sensores con fuentes independientes instalados en la turbina; si la turbina llegara a alta velocidad se dispararía inmediatamente, después de un disparo por alta velocidad el PROTECH203 indica alarma, la cual debe ser reconocida, para reconocerla se debe ir a la pantalla de **HARDWARE** y presionar sobre la imagen del PROTECH203 o presionar el botón **RESET AL**.

Si al presionar sobre la imagen del PROTECH203, se borra la alarma, pero en la pantalla de la LINEA DE TRIP continúa abierto, se debe revisar que el relé **K295** esté activado, si no está activado, puede ser que el relé no esté funcionando correctamente, forzar el relé manualmente y verificar si se ha cerrado el contacto en la pantalla, si no funciona llamar al instrumentista de turno para que verifique la señal.





- La señal de Lockout, es un contacto que se envía desde el panel eléctrico, este al momento de abrirse se debe reiniciar desde el panel, si este no responde, se debe consultar con el supervisor de Generación para determinar la causa por la cual no se cierra, en la Pantalla del Panel View solo es una visualización; si no cierra se debe revisar las condiciones en el panel eléctrico.



- El TRIP del **Bently Nevada** ocurre cuando existe una alta vibración en alguna de las chumaceras del turbogenerador, si existiera una vibración alta o un desplazamiento fuera de rango, abrirá la línea de trip y la turbina se disparará. Al momento que dé la señal de TRIP se debe corregir el problema y después reconocer la alarma; para reconocer la alarma se debe ir a la pantalla de **HARDWARE** y presionar sobre la imagen del **Bently Nevada** o presionar el botón **RESET AL**, si se ha corregido el problema debería desaparecer la alarma de vibración.

Si al presionar sobre la imagen del **Bently Nevada**, se borra la alarma, pero en la pantalla de la LINEA DE TRIP continúa abierto, se debe revisar que el relé **K293** esté activado, si no está activado, puede ser que el relé no esté funcionando correctamente; forzar el relé manualmente y verificar si se ha cerrado el contacto en la pantalla, si no funciona, llamar al instrumentista de turno para que verifique la señal.



-El TRIP remoto revisa varias condiciones antes de cerrarse, para que el **TRIP REMOTO** cierre las siguientes variables deben ser correctas:

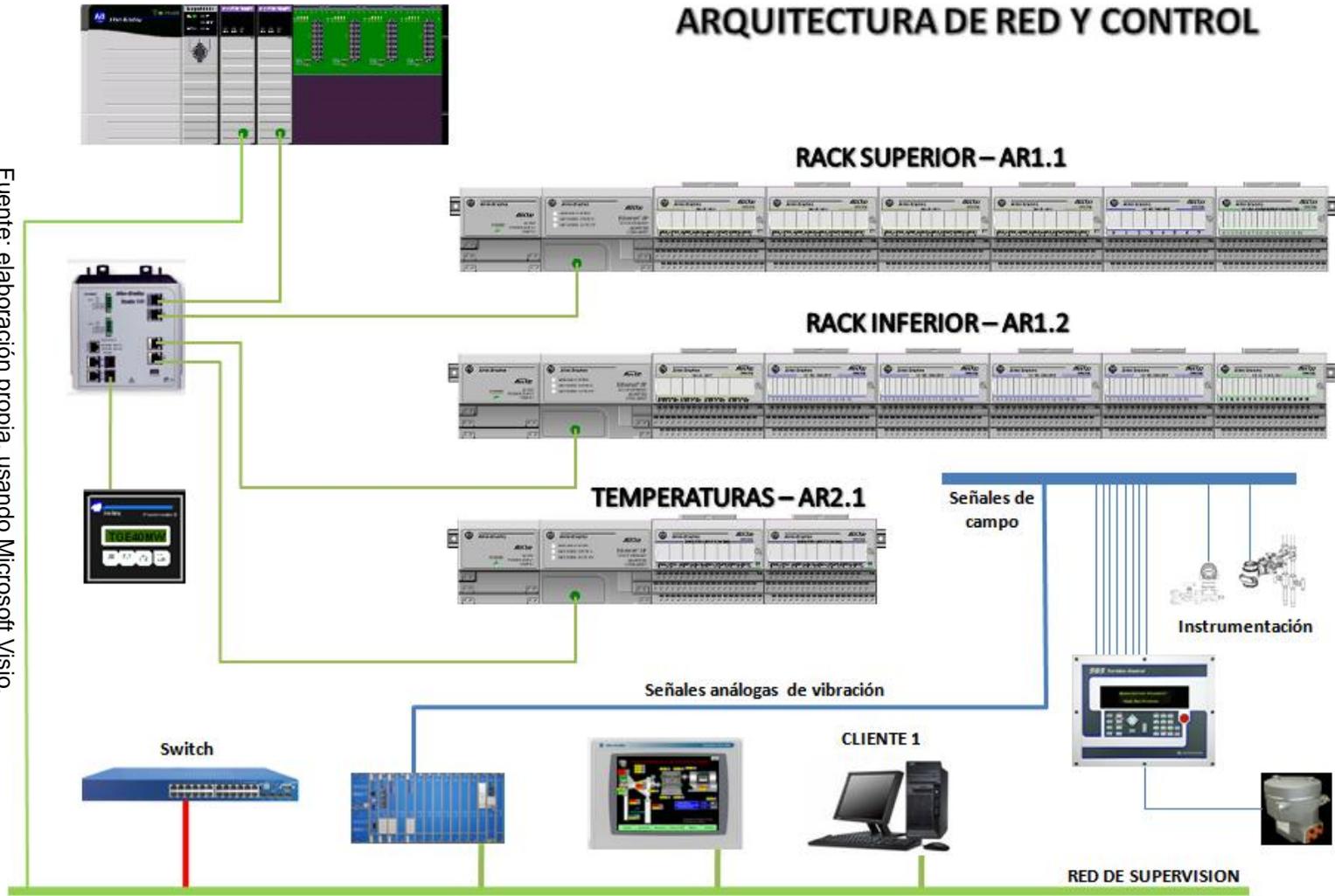
- Alta presión de vapor de escape (viene del transmisor de presión)
- *Switch* de alta presión de vapor de escape
- *Switch* de baja presión de aceite de lubricación,
- *Switch* de muy baja presión de aceite de lubricación
- TRIP por baja temperatura a la salida de calderas

Si alguna de estas condiciones falla, la turbina se dispara y no se podrá armar hasta que se reestablezcan. Al revisar todas las condiciones se debe presionar el botón **RESET AL** que se encuentra en la pantalla de **LÍNEA DE TRIP**.



Fuente: elaboración propia, usando Microsoft Visio.

ARQUITECTURA DE RED Y CONTROL



Anexo 4. Esquema final de control

