

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE MOVIMIENTO AXIAL Y
TEMPERATURA DE METAL DEL COJINETE DE EMPUJE DE LA UNIDAD N° 3 DE
TERMOPALENQUE Y ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA
VISUALIZACIÓN DE LOS PARAMETROS DE MEDIDA DE LOS INSTRUMENTOS EN
LA SALA DE CONTROL ATRAVÉS DE UN COMPUTADOR DE LA RED INTERNA.
(PROPIEDAD DE LA ELECTRICADORA DE SANTANDER ESSA).

JUAN FERNANDO MANTILLA ARAQUE

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2006

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE MOVIMIENTO AXIAL Y
TEMPERATURA DE METAL DEL COJINETE DE EMPUJE DE LA UNIDAD N° 3 DE
TERMOPALENQUE Y ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA
VISUALIZACIÓN DE LOS PARAMETROS DE MEDIDA DE LOS INSTRUMENTOS EN
LA SALA DE CONTROL ATRAVÉS DE UN COMPUTADOR DE LA RED INTERNA.
(PROPIEDAD DE LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER ESSA).

JUAN FERNANDO MANTILLA ARAQUE

Trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial para
optar por el título de Ingeniero Electrónico.

Director:

Ing. José Alejandro Amaya Palacio
Profesor Asistente
Universidad Industrial de Santander

Tutor:

Ing. Alfredo Valle Sosa
Coordinador de planta Termopalenque
Electrificadora de Santander S.A. E.S.P

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2006

A dios que hizo posible esto.
A la memoria de mi abuelo,
Alirio Mantilla Nuñez.
A mis padres quienes
me han dado todo en la vida.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros mas profundos agradecimientos al Doctor José Vicente Villamizar Durán Gerente de la Electrificadora de Santander; al Ingeniero Wilman Morales Rey Gerente de Generación; al Ingeniero Alfredo Valle Sosa coordinador de la planta Termopalenque, quienes hicieron posible el desarrollo del presente proyecto.

A su vez estoy en deuda con el excelente grupo de personal operativo de la planta Termopalenque, quienes me brindaron su colaboración durante el desarrollo del proyecto.

Agradezco las miles de contribuciones que recibí para la ejecución de este trabajo al Ingeniero José Alejandro Amaya Palacio, Directora del proyecto.

CONTENIDO

1. ASPECTOS TECNICOS DE LA UNIDAD N°3 DE TERMOPALENQUE.....	113
1.1 GENERALIDADES DE LA PLANTA TERMOPALENQUE	13
1.1.1 Principio de funcionamiento.	15
1.2 CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE LA UNIDAD TURBOGAS No. 3	15
1.2.1 Regulación del grupo.	15
1.2.2 Programador.	16
1.2.3 Turbina de gas.	17
1.2.4 Compresor de aire axial.	18
1.2.5 Cámara de combustión.	19
1.2.6 Motor de arranque y excitatriz.	21
1.2.7 Generador o alternador.	22
1.2.8 Girador.	23
1.2.9 Sistema de combustible.	23
1.2.10 Medidor de desplazamiento axial.	25
1.2.11 Resumen de las características técnicas.	26
1.3 PRUEBAS TECNICAS DE LA UNIDAD TURBOGAS No. 3.....	27
2. PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS	29
2.1 DISTRIBUCION DE LOS EQUIPOS.....	30
2.2 CONEXIONES ELECTRICAS	33
2.3 MONTAJE MECANICO	41
2.4 AJUSTES.....	48
3. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS INSTALADOS	50
3.1 SISTEMA DE MONITOREO RACK 3500	50
3.2 FUENTE DE ALIMENTACION.....	52
3.3 MODULO DE INTERFAZ DEL RACK.....	54
3.4 MODULO DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD	56
3.4.1 Sistema de transductores de proximidad.	58
3.5 MODULO DE MONITOREO DE TEMPERATURA.....	65
3.5.1 RTD.....	67
3.6 MODULO DE RELAYS.....	67
3.7 MODULO DE INTERFAZ Y DISPLAY.....	69
3.8 CUBIERTA DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD.....	71
4. PROPUESTA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS PARAMETROS DE MEDIDA DE LOS INSTRUMENTOS DE LA SALA DE CONTROL ATRAVÉS DE UN COMPUTADOR DE LA RED INTERNA.....	73
4.1 PANORAMA ACTUAL	74
4.2 PROPUESTA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS.....	74
4.2.1 Propuesta No.1 (System 1TM).....	74
4.2.2 Propuesta No. 2(Lab VIEW).....	76
4.3 ANALISIS ECONOMICO DE LAS PROPUESTAS	79
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
ANEXO A	84
ANEXO B	93
ANEXO C	98
ANEXO D	109
BIBLIOGRAFIA	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de los contactos del programador.	17
Tabla 2. Ficha técnica de la turbina.	18
Tabla 3. Ficha técnica del compresor de aire axial.	19
Tabla 4. Ficha técnica de la cámara de combustión.	20
Tabla 5. Ficha técnica del motor de arranque y excitatriz.	21
Tabla 6. Ficha técnica del generador o alternador.	22
Tabla 7. Ficha técnica del girador.	23
Tabla 8. Características técnicas de la unidad turbogas No.3.	26
Tabla 9. Lecturas tomadas durante la prueba de consumo térmico específico.	28
Tabla 10. Resultados de las pruebas de consumo térmico específico.	28
Tabla 11. Especificaciones del cable de instrumentación.	33
Tabla 12. Opciones del sistema de monitoreo RACK 3500.	51
Tabla 13. Especificaciones de la fuente de tensión.	54
Tabla 14. Especificaciones del modulo de interfaz.	55
Tabla 15. Especificaciones del modulo de los sensores de proximidad.	58
Tabla 16. Resistencia de la punta de prueba.	62
Tabla 17. Resistencia del cable de extensión.	62
Tabla 18. Efecto de 60 Hz par campos magnéticos arriba de 300 Gauss.	63
Tabla 19. Especificaciones del modulo de temperatura.	66
Tabla 20. Especificaciones del modulo de relays.	68
Tabla 21. Especificaciones modulo de interfaz y del Display.	70
Tabla 22. Especificaciones de la cubierta de los sensores de proximidad.	72
Tabla 23. Componentes adicionales al System 1.	76
Tabla 24. Especificaciones técnicas de la tarjeta NI USB-6210.	79
Tabla 25. Presupuesto para la visualización de los parámetros de medida.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de la unidad turbogas No. 3 de la planta Palenque.	14
Figura 2. Cableado de campo en el interior de la Unidad N°3.	32
Figura 3. Cable de instrumentación y control.	32
Figura 4. Diagrama de conexión eléctrico de la fuente de alimentación 3500/15.	35
Figura 5. Diagrama de conexión eléctrico del botón de Reset.	36
Figura 6. Diagrama de conexión eléctrico de los sensores de proximidad.	37
Figura 7. Diagrama de conexión eléctrico de las RTD's.	38
Figura 8. Funcionamiento de los Reles.	38
Figura 9. Diagrama eléctrico del modulo de Reles.	39
Figura 10. Diagrama de conexión del modulo de Display.	40
Figura 11. Ubicación de los dados maquinados en el cojinete de empuje.	43
Figura 12. Detalle del maquinado del plato porta dados.	44
Figura 13. Parte posterior del modulo de interfaz.	57
Figura 14. Sensor de corrientes de Foucault.	60
Figura 15. Prueba del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m a diferentes temperaturas.	63
Figura 16. Prueba del sistema de transductores de proximidad sin el cable de extensión a diferentes temperaturas.	64
Figura 17. Prueba del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m en el rango máximo de temperaturas de operación.	64
Figura 18. Respuesta en frecuencia del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m con diferentes longitudes de cableado de campo.	65
Figura 19. Respuesta en fase del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m con diferentes longitudes de cableado de campo.	65
Figura 20. Máxima capacidad de Switcheo con resistencia de carga en DC.	69
Figura 21. Máxima capacidad de Switcheo con resistencia de carga en AC.	69
Figura 22. Unidad de Display (LCD).	71

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Programador.	16
Foto 2. Turbina.	18
Foto 3 .Compresor de aire axial.	19
Foto 4. Filtros de aire del compresor.	20
Foto 5. Cámara de combustión.	20
Foto 6. Motor de arranque y excitatriz.	21
Foto 7. Generador o alternador.	22
Foto 8. Girador.	23
Foto 9. Válvula neumática principal de gas a la llegada y válvula neumática de escape de gas a la llegada.	24
Foto 10. Válvula de admisión de gas.	24
Foto 11. Válvula combinada llama piloto y escape del gas.	24
Foto 12. Válvula de regulación de gas.	25
Foto 13. Ventilador de aspiración de fuga de gas.	25
Foto 14. Medidor de desplazamiento axial.	26
Foto 15. Ubicación del gabinete del RACK 3500.	31
Foto 16. Cubierta de los sensores de proximidad.	31
Foto 17. Gabinetes de control de la Unidad N°3.	33
Foto 18. Bornera en la cubierta de los sensores de proximidad.	34
Foto 19. Bornera en el gabinete del RACK.	34
Foto 20. Interruptores automáticos (breakers) del RACK.	35
Foto 21. Ubicación del botón de Reset.	36
Foto 22. Conexión del modulo de Display con la pantalla LCD.	39
Foto 23. Conexiones del sistema de monitoreo RACK 3500.	40
Foto 24. Tapa del cojinete de empuje.	41
Foto 25. Casquete superior del cojinete de empuje.	42
Foto 26. Cojinete de empuje.	42
Foto 27. Instalación de la RTD en el dado del cojinete de empuje.	43
Foto 28. Maquinado del plato porta dados.	44
Foto 29. Montaje en el porta dados con las RTD's aseguradas.	45
Foto 30. Montaje de las RTD's en el cojinete de empuje.	45
Foto 31. Ruteo del cable de la RTD fuera del cojinete de empuje.	45
Foto 32. Vista superior del cojinete de empuje con el ruteo de los cables de las RTD's.	46
Foto 33. Ruteo de los cables de RTD con los casquetes del cojinete empuje asegurados.	46
Foto 34. Puntas de los sensores de proximidad instaladas en el cojinete de empuje.	47
Foto 35. Micrómetro de precisión TK-3.	47
Foto 36. Instalación de las cajas de distribución en la tapa del cojinete de empuje.	48
Foto 37. Montaje para la calibración de los sensores de proximidad.	49
Foto 38. Montaje final en el cojinete de empuje.	49
Foto 39. RACK 3500.	51
Foto 40. Sistema de monitoreo RACK 3500 implementado.	52
Foto 41. Display del sistema de monitoreo RACK 3500.	53
Foto 42. Fuente de alimentación 3500/15.	53
Foto 43. Banco de baterías.	54
Foto 44. Modulo de interfaz del RACK.	55

Foto 45. Software de configuración del RACK 3500.....	56
Foto 46. Modulo de los sensores de proximidad.....	57
Foto 47. Punta de prueba de 8 mm.....	59
Foto 48. Cable de extensión.	59
Foto 49. Sensor de proximidad.	60
Foto 50. Conexión entre la punta de prueba y el sensor de proximidad.	61
Foto 51. Modulo de temperatura.	66
Foto 52. RTD del tipo PT100.....	67
Foto 53. Modulo de Relays.....	68
Foto 54. Modulo de interfaz y Display.	70
Foto 55. Cubierta de los sensores de proximidad.	71
Foto 56. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6210.	79

RESUMEN

TITULO:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE MOVIMIENTO AXIAL Y TEMPERATURA DE METAL DEL COJINETE DE EMPUJE DE LA UNIDAD N° 3 DE TERMOPALENQUE Y ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA DE LOS INSTRUMENTOS EN LA SALA DE CONTROL A TRAVÉS DE UN COMPUTADOR DE LA RED INTERNA. (PROPIEDAD DE LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER ESSA)

AUTOR:

JUAN FERNANDO MANTILLA ARAQUE**

PALABRAS CLAVES:

Planta, Térmica, Interconexión, Turbogas, Monitoreo, Cojinete, Transductores, Proceso.

DESCRIPCIÓN:

El proyecto desarrollado en la planta de generación térmica de Termopalenque que hace parte del sistema de interconexión nacional propiedad de la ELECTRIFICADORA DE SANTANDER, busca mejorar el adecuado funcionamiento de la unidad turbogas No. 3, donde se requiere monitorear continuamente el desplazamiento axial y la temperatura de metal del cojinete de empuje para que desde la sala de control el operador pueda tomar acciones inmediatas en caso que se presenten problemas relacionados con las variables anteriormente mencionadas.

Por tal motivo se instalo un sistema de supervisión o monitoreo diseñado para aceptar una gran variedad de entradas de diferentes transductores y estar continuamente supervisando y exhibiendo parámetros de la maquinaria a la cual esta conectado, este sistema puede generar alarmas cuando las condiciones de la maquinaria excedan los límites establecidos por el usuario , estas alarmas se pueden utilizar para cerrar automáticamente la maquinaria o para anunciar problemas de la maquinaria a los operadores.

A demás se presenta una propuesta que busca adecuar nuevas tecnologías para la mejora de un proceso ya establecido el cual a presentado falencias las cuales se pueden solucionar aplicando estas nuevas opciones. También se hace una presentación de las posibles soluciones para mejorar este proceso junto con un análisis de las ventajas resultantes de la mejora del mismo.

* Trabajo de grado modalidad practica empresarial.

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería eléctrica electrónica y telecomunicaciones, Ingeniero José Alejandro Amaya Palacio.

ABSTRACT

TITLE:

IMPLEMENTATION OF A SYSTEM OF MONITORED OF AXIAL MOVEMENT AND TEMPERATURE OF METAL OF THE BEARING OF PUSH OF THE UNIT No.3 OF TERMOPALENQUE AND ELABORATION OF A PROPOSAL FOR THE VISUALIZATION OF THE PARAMETERS OF MEASUREMENT OF THE INSTRUMENTS IN THE CONTROL ROOM TO THROUGH OF A COMPUTER OF THE INTERNAL NETWORK. (PROPERTY OF THE ELECTRIFICADORA OF SANTANDER ESSA).

AUTHOR:

JUAN FERNANDO MANTILLA ARAQUE**

KEY WORDS:

Plants, Thermal, Interconnection, Turbogas, Monitored, Bearing, Transducers, Process.

DESCRIPTION:

The project developed in the plant of thermal generation of Termopalenque that is part of the system of national interconnection property of the ELECTRIFICADORA OF SANTANDER, looks for to improve the suitable operation of the unit turbogas No. 3, where it is required continuously to monitorean the axial displacement and the temperature of metal of the push bearing so that from the control room the operator can take immediate actions in case problems related to the variables previously mentioned appear.

By such reason I settle a supervision system or designed monitored to accept a great variety of entrances of different transducers and to be continuously supervising and exhibiting parameters of the machinery to which this connected, this system can generate alarms when the conditions of the machinery exceed the limits established by the user, these alarms can be used to close the machinery automatically or to announce problems of the machinery to the operators.

To others a proposal appears that it looks for to adapt new technologies for the improvement of a process already established which to presented/displayed falencias which can be solved applying these new options. Also a presentation is made of the possible solutions to improve this process along with an analysis of the resulting advantages of the improvement of he himself.

*Work of degree modality practices enterprise.

** Faculty of physical-mechanical engineering's, School of electronic electrical engineering and telecommunications, Engineer Jose Alejandro Amaya Palacio.

1. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA UNIDAD N°3 DE TERMOPALENQUE

Los cambios en las condiciones de trabajo de los equipos hacen que éstos corran el riesgo de fallar en cualquier momento, por tal razón, es conveniente normalizar su manejo de acuerdo a las condiciones de trabajo dadas por el fabricante.

La Electrificadora de Santander busca mejorar el adecuado funcionamiento de la unidad turbogas N°3 ubicada en Termopalenque, la cual se encuentra en servicio desde 1971; esto significa que algunos mecanismos de control no sean lo suficientemente exactos después de 35 años de uso por tal razón se quieren tomar medidas preventivas para evitar accidentes y aumentar la vida útil de la unidad N° 3, utilizando nueva tecnología para tener parámetros de control mas exactos del funcionamiento de la unidad N°3.

Se requiere monitorear continuamente el movimiento axial del eje y la temperatura de metal en el cojinete de empuje de la unidad turbogas N°3 ubicada en Termopalenque, para que desde la sala de control, el operador pueda establecer acciones inmediatas para el caso en que se presenten problemas, como un desplazamiento axial excesivo del eje el cual no puede ser mayor a 0.8mm ya que puede ocasionar daños en los alabes fijos y móviles de la turbina así como un sobrecalentamiento en el cojinete de empuje ya que los materiales de construcción tiene un campo de utilización en caliente limitado y con ello imponen una temperatura máxima de funcionamiento que no se debe rebasar.

Además, se deseaba tener la lectura de los instrumentos de medida en la sala de control ya que el dispositivo original de la unidad N°3 se localiza arriba de la tapa del cojinete de empuje donde se dificulta su lectura por parte del operario. También se busca mejorar la precisión en la medida del desplazamiento axial ya que el dispositivo original es analógico.

También se buscaba mejorar la información recolectada por los operarios sobre los parámetros eléctrico-mecánicos de la unidad N°3 cuando se coloca en funcionamiento, ya que los datos para su control se toman cada 30 minutos; por esta razón se busca visualizar los datos provenientes de los medidores a través de un computador de la red interna para que estos se puedan procesar con mayor precisión para los diferentes informes.

En este capítulo se da una presentación general de los aspectos técnicos de la planta, una descripción de las características técnicas y del funcionamiento y los principales sistemas que conforman la unidad.

1.1 GENERALIDADES DE LA PLANTA TERMOPALENQUE

Actualmente en Termopalenque se encuentra instalada la unidad conocida como la unidad turbogas No. 3, BROWN BOVERI tipo 11L cuya particularidad reside en la posición horizontal de la cámara de combustión, situada encima del turbo-compresor. En la Figura 1 se muestra un esquema general de la unidad N°3 de termopalenque.

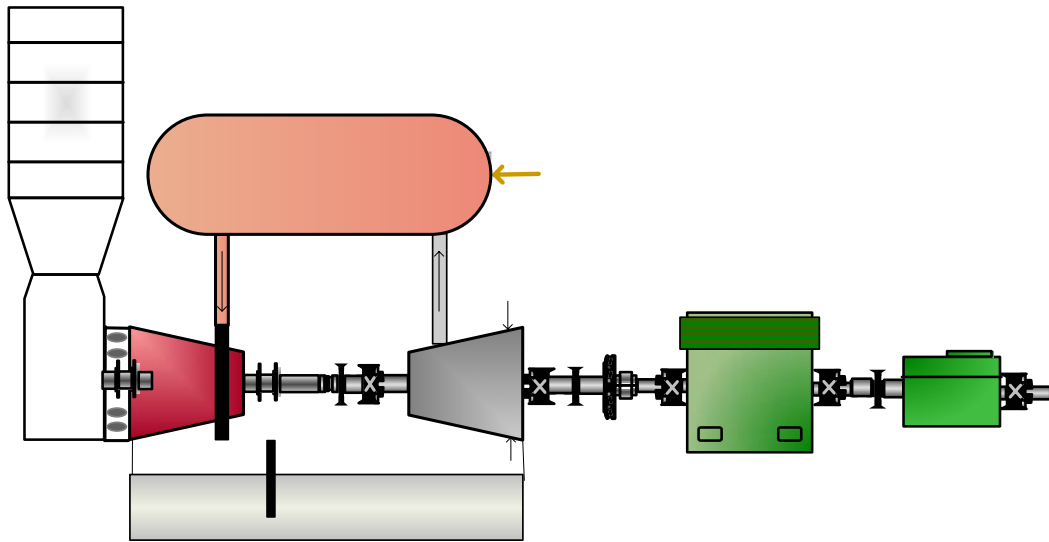
La potencia efectiva del generador actualmente es de 15000 kW a una tensión de 13800 V. Para su funcionamiento se utiliza gas natural.

Sus elementos constitutivos forman tres grupos a saber:

1. Turbina de gas y compresor de aire.
2. Alternador, motor de arranque y pupitre de mando.
3. Cámara de combustión con sus respectivos ductos de aire.

La máquina funciona según el ciclo abierto, es decir, sin refrigeración intermedia, ni calentador de aire. El ciclo termodinámico abierto se divide en cuatro fases, encargándose la atmósfera de la última.

Figura 1. Esquema general de la unidad turbogas No. 3 de la planta Palenque.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Oficina de Planeación. Bucaramanga, 2006.

La primera fase es la compresión del aire de combustión en el compresor de aire (tipo axial); por absorción de potencia, un volumen de aire determinado es puesto a la presión requerida en la cámara de combustión.

La segunda fase se caracteriza por la combustión. El aporte de calorías realizado por la combustión a presión constante del combustible inyectado, mezclado con una parte del aire comprimido, aumenta la entalpía de los gases que se dilatarán en la turbina.

La cantidad de aire de combustión se ajusta adecuadamente para asegurar el mayor rendimiento térmico posible. La cantidad de aire que queda se utiliza para enfriar las paredes de la cámara de combustión y luego se mezcla con los gases de combustión, cuya temperatura se reduce así a un valor admisible para la turbina.

La tercera fase se realiza por la expansión de los gases calientes en la turbina. La energía así producida acciona todo el grupo, y la diferencia entre la potencia desarrollada por la turbina y la absorbida por el compresor, se transforma en energía eléctrica por medio del alternador.

1.1.1 Principio de funcionamiento. Las turbinas de gas funcionan según el principio de ciclo abierto. El compresor de aire comprime a siete atmósferas aproximadamente el aire aspirado a través de los filtros de aire. La temperatura del aire en la impulsión del compresor es de aproximadamente 270 °C.

El aire comprimido es admitido en la cámara de combustión a través de una tubería; es utilizado en parte para la combustión de gas inyectado por el quemador (aire primario) y en parte para el enfriamiento de los gases de combustión (aire secundario). Los gases calientes al entrar en expansión en la turbina producen la energía mecánica.

La energía disponible para el acoplamiento del generador corresponde como máximo a 1/3 aproximadamente de la energía bruta producida por la turbina.

En el escape de la turbina, los gases cuya presión ha quedado reducida aproximadamente a una atmósfera son conducidos a la chimenea a través del difusor.

El alternador trifásico y el motor de lanzamiento excitatriz están acoplados rígidamente. Este motor de lanzamiento de corriente continua garantiza el arranque del grupo. Cuando el grupo alcanza la velocidad nominal, desempeña el papel de excitatriz.

En funcionamiento normal, el caudal del compresor de aire es constante. La potencia producida es determinada por el caudal de combustible, este es regulado por una válvula pilotada por presión de aceite; cuando la presión de aceite aumenta, la válvula se abre cada vez más y la carga aumenta.

El caudal de combustible, de acuerdo con la posición de la válvula de regulación; determina así mismo la temperatura de los gases en la entrada de la turbina: si el caudal de gas es débil, el exceso de aire es importante y la temperatura de los gases en la salida de la cámara de combustión es relativamente débil.

La temperatura de los gases y la carga están, relacionadas entre si, la temperatura se eleva cuanto mas importante es la carga y, en condiciones exteriores constantes, la temperatura de los gases define la potencia de la turbina.

Para mayor información sobre el funcionamiento de las turbinas de gas consultar el ANEXO A donde se muestran los principales aspectos teóricos de las maquinas térmicas.

1.2 CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE LA UNIDAD TURBOGAS No. 3

1.2.1 Regulación del grupo. La regulación de la turbina de gas se compone de:

- La regulación de la velocidad.
- La limitación de la temperatura.
- La regulación de la admisión de gas natural.
- La regulación del compresor de aire.

Según la forma en que se conecte la unidad a la red eléctrica, cabe distinguir dos tipos de regulación:

- Funcionamiento en red autónoma, la máquina mantiene la frecuencia de la red, eventualmente con la colaboración de otros grupos que suministren en paralelo con la red. La máquina funciona obligatoriamente, pues, con regulación de velocidad; el regulador de temperatura de los gases en la admisión de la turbina actúa como limitador para evitar que se alcance una temperatura excesiva.

El regulador de velocidad dispone de un campo de proporcionalidad fijo denominado estatismo. Este estatismo es del 5% aproximadamente, es decir que para una posición fija del variador de velocidad, la velocidad disminuye 5% cuando el grupo es cargado del funcionamiento en vacío a plena carga.

La velocidad de la máquina o la frecuencia de la red dependen, de la potencia exigida por la red y de la posición del variador de velocidad; cuando la demanda de la red varía, la frecuencia es restablecida en el valor deseado actuando en el variador de velocidad.

- Funcionamiento en paralelo en la red de interconexión, en este caso, la potencia del grupo es muy débil con relación a la potencia de la red y no puede influir notablemente en su frecuencia.

La velocidad del grupo, es impuesta por la red, la potencia a suministrar es dictada por la posición del variador de velocidad, o bien por la regulación de la temperatura de los gases en la admisión de la turbina.

1.2.2 Programador. Es un interruptor que consta de 66 contactos que cierran o abren dependiendo del estado de cada una de las ocho posiciones que puede adoptar. En la Foto 1, se muestra el programador, en la Tabla 1 se muestra la distribución de los contactos del programador.

El paso de una posición a otra se logra mediante un motor de 220 V de corriente alterna. Este se usa para llevar el grupo desde la posición 0 “parada total” a la velocidad nominal en la posición 5 “operación”. El paso de una posición a otra se hace siempre y cuando se cumplan los requisitos programados.

Foto 1. Programador.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogás N°3. Bucaramanga 2006.

Tabla 1. Distribución de los contactos del programador.

CONTACTO	CIRCUITO
1-2-3-4-5-6-7-8-9-11-25-40-45	Maniobra del programador
53-54-55-56-57-58-59-61	Indicación posición programador
16-19-21-28-29-34	Relé repetidores posición programador
12-13-14	Bomba auxiliar aceite de lubricación
20-65	Ventiladores enfriador de aceite
22-23	Postigo alternador
31	Válvula principal gas a la llegada 8001
32-33	Válvula purga de gas a la llegada 8002
36-42	Válvula de arranque R2679
49-64	Mando variador de velocidad
10	Vigilantes de llama
14	Bomba aceite alta presión
17	Extractores de vapor de aceite
24	Disyuntor motor de arranque
26	Motor varilla de encendido
27	Alarma válvulas antibombeo
35	Disyuntor de excitación
37	Electroválvula R2606 gas piloto
38	Válvula magnética R2601 gas regulación
41	Válvula magnética R2734 aceite seguridad
43	Presión aceite de seguridad
44	Presión aceite lubricación
46	Calefacción generador
47	Mando válvulas antibombeo
48	Mando girador
51	Vigilancia programador
52	Toma de velocidad
60	Disyuntor de excitación
62	Desenganche disyuntor grupo

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogás N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.3 Turbina de gas. La turbina es del tipo monocilíndrico, a reacción, de flujo simple. En la Foto 2 se muestra la turbina. El árbol de acero forjado lleva las paletas y la tubería de escape va fija al cuerpo de la turbina por una brida circular.

El cilindro es de acero colado al molibdeno y está formado por dos partes separadas por una junta horizontal unidas por bridas y pernos.

Foto 2.Turbina.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3.Bucaramanga 2006.

El árbol está constituido por tres partes, unidas por soldadura y se encuentra apoyado en dos cojinetes lubricados por aceite a presión. En el extremo del árbol junto al escape se encuentra el dispositivo de sobrevelocidad.

La turbina tiene siete hileras de paletas fijas y móviles. Las paletas móviles están unidas al rotor por una fijación del tipo “pie de abeto” y entre cada una de estas hileras se intercalan dos sectores cilíndricos que sirven para proteger el árbol de los gases calientes. Las paletas fijas están unidas al estator por una fijación del tipo con “ranuras”.

Las paredes del cilindro tienen tubos soldados por los que circula aire del compresor que tiene como objeto enfriar simétrica y uniformemente las paredes del cilindro, este caudal de aire puede ser graduado por válvulas.

Tabla 2. Ficha técnica de la turbina.

Ficha técnica de la turbina			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	P 1 593
Tipo	TA-900-7	Velocidad	3600 rpm
Número de etapas	7	Presión de admisión	6.13 bares
Presión en el escape	0.942 bares	Temperatura de admisión	760 °C
Temperatura de escape	360 °C	Caudal	116.5 Kg/s
Potencia producida	47600 Kg/s	Diámetro interior del rotor	900 mm

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3.Bucaramanga 2006.

1.2.4 Compresor de aire axial. El compresor de aire de la unidad N°3 que se muestra en la Foto 3, es de tipo axial, monocilíndrico, de flujo simple, sin refrigeración intermedia. El árbol lleva paletas del tipo a reacción. La aspiración del aire está dirigida hacia los lados y la impulsión se hace mediante dos brazos dirigidos hacia la parte superior. En la parte superior existen tres válvulas que descargan parte del aire

comprimido a la atmósfera para evitar el bombeo del compresor durante el proceso de arranque. El compresor tiene 19 hileras de paletas fijas y móviles. El ducto de aspiración de aire tiene un sistema de insonorización y otro de filtración. En la Foto 4 se muestra los filtros de aire.

Foto 3 .Compresor de aire axial.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3.Bucaramanga 2006.

Tabla 3. Ficha técnica del compresor de aire axial.

Ficha técnica del compresor de aire axial			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	P 1 596
Tipo	Axial VA 10-109	Velocidad	3600 rpm
Número de etapas	19	Caudal	105 m ³ /s
Presión en la aspiración	0.932 bares	Presión de impulsión	6.26 bares
Temperatura en la aspiración	27 °C	Potencia absorbida	32400 KW
Diámetro interior del rotor	1000 mm		

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3.Bucaramanga 2006.

1.2.5 Cámara de combustión. El elemento principal de la cámara de combustión es un cuerpo cilíndrico de acero al molibdeno, al que están soldadas las bridas de llegada del aire primario y de salida de los gases de combustión. El cual se muestra en la Foto 5.

El cuerpo está cerrado por una tapa que soporta los elementos principales necesarios para la combustión como: tubos de llegada de combustible, quemador, controles de vigilancia de llama y la varilla para encendido.

El quemador está formado por un cuerpo encargado de distribuir el aire y por los quemadores de gas. El quemador de gas está constituido por unos tubos concéntricos.

El tubo central y el primer tubo concéntrico forman el quemador principal y los otros dos tubos concéntricos forman el quemador piloto cuya finalidad es mantener la llama en caso de perturbaciones impuestas a la llama principal por la válvula de regulación.

Foto 4. Filtros de aire del compresor.



Fuente autor de proyecto.

Foto 5. Cámara de combustión.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Tabla 4. Ficha técnica de la cámara de combustión.

Ficha técnica de la cámara de combustión			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	P 1 599
Tipo	2200 mm	Caudal de aire total	115 Kg/s
Temperatura de entrada	275 °C	Temperatura de salida	770 °C
Presión	7.45 bares	Pérdida de presión	2 %
Combustible	Gas Natural	Consumo de gas natural (LHV = 8017 Kcal/Nm ³)	6150 N/m ³ /h
Diámetro exterior	2200 mm	Longitud total	6400 mm

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.6 Motor de arranque y excitatriz. Es una máquina de corriente continua que sirve como motor de arranque del grupo y como excitatriz del generador cuando se ha alcanzado la velocidad nominal y esta conectado a la red. En la Foto 6, se muestra el motor de arranque y excitatriz.

Como motor toma su alimentación de la red de corriente alterna por intermedio de un transformador y un rectificador de silicio.

La potencia máxima de 360 KW solo se alcanza a las 1100 rpm. Durante esta función como motor serie y trabaja como tal hasta las 2000 rpm.

Los inductores de esta máquina poseen dos devanados: un devanado de excitación independiente para funcionamiento como excitatriz y un devanado de excitación serie para funcionamiento como motor.

Foto 6. Motor de arranque y excitatriz.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Tabla 5. Ficha técnica del motor de arranque y excitatriz.

Ficha técnica del motor de arranque y excitatriz			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	B 71086
Tipo	GHJT 176C		
Motor			
Potencia	330 kW	Tensión	240 V
Corriente	1500 A	Velocidad desenganche a:	2000 rpm
Excitatriz			
Potencia	64 kW	Tensión	150 V
Corriente	425 A	Velocidad	3600 rpm

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.7 Generador o alternador. El alternador es del tipo de rotor liso, de eje horizontal con refrigeración de aire en circuito abierto, con aspiración por un costado y salida por la parte superior.

El estator se compone de un armazón de perfilados y chapas soldadas, del circuito magnético, del devanado, de las cubiertas protectoras y de las guías de aire.

El rotor es del tipo liso y está formado por un cuerpo de acero de una sola pieza.

El bobinado se encuentra montado en ranuras radiales cerradas con cuñas de bronce. Las cabezas de las bobinas están protegidas por dos cubiertas de acero no magnético que son instaladas en caliente.

La corriente llega por dos anillos situados en ambos lados del cuerpo del rotor a través de escobillas. En la Foto 7, se muestra el generador o alternador.

Foto 7. Generador o alternador.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Tabla 6. Ficha técnica del generador o alternador.

Ficha técnica del generador o alternador			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	P.14.012
Tipo	WTS 21 FG	Potencia nominal	25 MVA
Factor de potencia	0.8	Velocidad	3600 rpm
Tensión	13800 V	Corriente	1050 A
Frecuencia	60 Hz	Excitación	130 V - 380 A
Tipo de enfriamiento	Circuito de aire abierto	Relación de cortocircuito en las condiciones nominales	0.6
Número de terminales	6	Caudal aire de enfriamiento	18 m ³ /s

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.8 Girador. Su función es girar media vuelta el eje del grupo, cada 20 minutos por un periodo de 32 horas después de una señal de parada. Lo anterior con el fin de evitar deformaciones en el eje del turbo-compresor. En la Foto 8 se muestra el girador (1550).

Tabla 7. Ficha técnica del girador.

Ficha técnica del girador			
Fabricante	CEM	No. de fabricación	38642
Potencia	2.2 kW	Corriente	5 A
Tensión	440 V	Velocidad	850 rpm

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Foto 8. Girador.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.9 Sistema de combustible. La unidad turbogas No.3 está dotada con un sistema de combustible donde el principal componente es el gas natural y comprende un circuito de alimentación formado por los siguientes elementos:

- 1 válvula de llegada de gas (Foto 9).
- 1 válvula de escape de gas (Foto 9).
- 1 filtro.
- 1 válvula de admisión (Foto 10).
- 1 válvula combinada escape al aire libre- quemador piloto (Foto 11).
- 1 válvula de regulación de gas (Foto 12).
- 1 motoventilador de aspiración de los escapes de gas en los vástagos de válvulas (Foto 13).
- 2 llaves de purga.

Foto 9. Válvula neumática principal de gas a la llegada y válvula neumática de escape de gas a la llegada.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Foto 10. Válvula de admisión de gas.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Foto 11. Válvula combinada llama piloto y escape del gas.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Foto 12. Válvula de regulación de gas.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

Foto 13. Ventilador de aspiración de fuga de gas.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.10 Medidor de desplazamiento axial. Vigila el desplazamiento axial del eje de la turbina y del compresor, para evitar choque entre los alabes móviles y fijos de la turbina y el compresor.

Cuando el desplazamiento es mayor de 0.8 mm, se cierra un contacto que energiza el relé de parada de grupo y da la alarma "dilatación eje 0.8 mm". En la Foto 14 se muestra el medidor de desplazamiento.

Foto 14. Medidor de desplazamiento axial.



ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

1.2.11 Resumen de las características técnicas. La unidad turbogas No. 3 presenta, entre otros, los siguientes aspectos técnicos de diseño:

Tabla 8. Características técnicas de la unidad turbogas No.3.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Presión de alimentación	200 PSI
Presión de suministro	145 – 160 PSI
Potencia en los terminales del alternador en las condiciones NEMA.	14750 kW
Potencia en los terminales del alternador en las condiciones locales.	14600 kW
Rendimiento térmico en los terminales del alternador en las condiciones locales (con relación al LHV)	24.3 %
Consumo de calor equivalente	3539 kcal/kWh
Condiciones locales:	
Temperatura ambiente	27 °C
Presión atmosférica	703 mmHg
Temperatura admisión turbina	730 – 760 °C
Velocidad: turbina, compresor, alternador	3600 rpm
Frecuencia	60 Hz
Combustible	Gas natural

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas N°3. Bucaramanga 2006.

El cálculo del rendimiento térmico realizado en el diseño se obtiene en base al consumo de calor equivalente cuando se van a generar 14.6 MW. Este calculo muestra a continuación:

1 BTU = 0.0002930 kWh. ; Consumo de calor equivalente = 3539 (kcal /kWh).
 1 BTU = 252 cal
 1 kcal = 1000 cal
 1 MBTU = 0.293 MWh.

$$\frac{3539 \frac{kcal}{kWh} * 1000 \frac{cal}{kcal}}{252 \frac{cal}{BTU}} = 14043.65 \frac{BTU}{kWh} = 0.0140436 \frac{MBTU}{kWh} = 14.0436 \frac{MBTU}{MWh}$$

$$\Rightarrow 0.07120 \frac{MWh}{MBTU} ; \quad \eta = \frac{0.07120 \frac{MWh}{MBTU}}{0.293 \frac{MWh}{MBTU}} = 0.243 ; \quad \eta = 24.3\%$$

La unidad generadora N° 3 de Termopalenque figura en el centro nacional de despacho con una capacidad generadora de 13 MW, esta capacidad se estableció por parte de la Electrificadora de Santander para tener la seguridad de poder cumplir con los despachos de esa capacidad ya que un despacho de mayor capacidad depende de unas condiciones climáticas que no se encuentran todos los días en la ciudad de Bucaramanga es decir una temperatura ambiente del orden de 18 °C.

1.3 PRUEBAS TECNICAS DE LA UNIDAD TURBOGAS No. 3

A la unidad generadora N°3, se le realizaron pruebas del consumo térmico específico, contratadas por la Electrificadora con una firma de de ingenieros consultores para evaluar su desempeño.

Las dos pruebas estipuladas, se desarrollaron a plena carga y de 30 minutos de duración cada una, fueron realizadas en forma consecutiva, sin pausa entre ellas, entre las 19:00 y las 20:00 del día 24 de noviembre de 1998. Se tomaron lecturas de la energía eléctrica entregada a barraje de 34.5 kV y de energía consumida por los auxiliares alimentados desde este barraje, al comienzo y al final de cada prueba. La diferencia entre estas dos lecturas constituye la energía neta entregada al sistema.

De la misma forma, se tomaron lecturas del consumo acumulado de gas natural al comienzo y al final de cada prueba, en el medidor de Transoriente, contiguo a la planta, el que es usado para fines de facturación del gas. Cada diez minutos se leyeron los valores instantáneos de generación bruta, temperatura ambiente, flujo de gas y factor de potencia.

El factor de potencia se mantuvo en 0.85 durante las pruebas; por tanto no hubo necesidad de hacer corrección por este motivo. Se hicieron las correcciones por temperatura ambiente según las curvas de fabricación de la turbina.

Se calculó el poder calorífico inferior del combustible a partir del análisis cromatografico del gas de Payoa efectuado por Transoriente el 9 de junio de 1998 ¹.

¹ ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Pruebas de Consumo Térmico Específico. Bucaramanga, 9 de junio 1998.

Tabla 9. Lecturas tomadas durante la prueba de consumo térmico específico.

PRUEBA N°1				PRUEBA N°2			
Hora	Temp. Amb. °C	Cos Φ	Flujo de gas ft ³ /h	Hora	Temp. Amb. °C	Cos Φ	Flujo de gas ft ³ /h
19:00	25.8	0.85	198.370	19:30	25.8	0.85	197.980
19:10	25.8	0.85	198.270	19:40	25.8	0.85	197.390
19:20	25.8	0.85	197.520	19:50	25.7	0.85	199.410
19:30	25.8	0.85	197.980	20:00	25.2	0.85	199.010
Promedio	25.8	0.85	198.035	Promedio	25.63	0.85	198.448
Contadores	kWh-1	kWh-2	Gas,ft³x10³	Contadores	kWh-1	kWh-2	Gas,ft³x10³
Inicial	30316900	255,110	472,000	Inicial	30323500	255,135	571,000
Final	30323500	255,135	571,000	Final	30330100	255,160	670,000
Diferencia	6600	0.025	99,000	Diferencia	6600	0.025	99,000

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Pruebas de Consumo Térmico Específico. Bucaramanga, 9 de junio 1998.

Tabla 10. Resultados de las pruebas de consumo térmico específico.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS		
	PRUEBA N°1	PRUEBA N°2
Energía neta generada kWh	6580	6580
Gas consumido ft ³	99000	99000
Poder Calorífico, BTU/ft ³ (LHV)	967.11	967.11
Heat Rate , BTU/kWh	14550.74	14550.74
Factor de corrección por temperatura	0.9996452	0.997055
Factor de corrección por humedad relativa	0	0
Factor de corrección por factor de potencia	0	0
Factor de corrección por carga parcial	0	0
Heat Rate corregido, BTU/kWh	14499.11	14507.89
Promedio de pruebas 1 y 2, BTU/kWh	14503	

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Pruebas de Consumo Térmico Específico. Bucaramanga, 9 de junio 1998.

Los resultados de las pruebas, corregidos a la temperatura media multianual certificada por el IDEAM para la estación Llanogrande, Municipio de Girón, en cercanías de la planta y a una elevación sobre el nivel del mar similar a la de esta , fueron:

Consumo Térmico Específico: 14503 BTU/kWh.

Eficiencia: 23.53%

2. PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS

Para la Electrificadora de Santander es de gran importancia la realización de mejoras que permitan optimizar la operación y funcionamiento de su Central Térmica de Palenque ya que se encuentra en proceso de certificación de la norma ISO 9001, y de esta manera cumplir con los requisitos necesarios para este fin.

Con la implementación del sistema de monitoreo se busca mejorar los procesos manejados en la actualidad, adecuando tecnología vigente; en primer lugar con la implementación de los sensores de proximidad, se busca tener un mayor control sobre el desplazamiento axial del eje y con los sensores de temperatura en el cojinete de empuje se busca detectar posibles complicaciones en el funcionamiento de la planta térmica; cumpliendo de esta manera con los niveles de producción y seguridad operativa que se requiere, además de prevenir un posible accidente por daños en la estructura de la unidad de turbogas N°3, por tal motivo el operador supervisa constantemente el desplazamiento axial, y el control de temperatura del cojinete de empuje a través de los resultados que arrojan los sensores a la sala de control, así de esta manera se permite establecer mecanismos para prevenir un accidente industrial que afectaría las instalaciones de la planta así como la vida de los empleados de Termopalenque, y también las empresas de los alrededores como Terpel, Gasan, Transoriente.

Para la realización del montaje del sistema de monitoreo RACK 3500 la Electrificadora de Santander decidió dividir el trabajo del montaje en varias etapas con el fin de tener la Unidad No.3 de Termopalenque el menor tiempo Indisponible para que el valor de cargo por capacidad no se disminuya ya que con base en este valor la bolsa de energía que es la administradora del sistema de distribución nacional le remunera a la Electrificadora de Santander cada mes una cantidad de dinero.

El cargo por capacidad es un mecanismo financiero creado para reducir el riesgo de volatilidad y estacionalidad de los precios en la bolsa de energía. Para su cálculo hay que tener en cuenta varios parámetros los cuales se explican en la resolución 116 de 1996 (CREG-116 de 1996).

En este momento la tarifa de cambio está en 5.25 (US/kWhmes) que al multiplicarse por el valor del cargo por capacidad de la Unidad N°3 que es de 5800 kWh da como resultado el dinero remunerado cada mes a la Electrificadora de Santander que es aproximadamente \$30450 US.

Para disminuir el tiempo de indisponibilidad de la Unidad N°3 se dividió el trabajo del montaje en las siguientes etapas:

- Cableado de campo y ubicación del gabinete en la sala de control y ubicación de la cubierta de los sensores de proximidad.
- Montaje del RACK 3500 en la sala de control y cableado eléctrico del mismo.

- Desmontaje de los componentes del cojinete de empuje para la elaboración de los planos de ingeniería para decidir la ubicación de las RTD's y las puntas de prueba de los sensores de proximidad. Junto con el mantenimiento preventivo para el cojinete de empuje.
- Maquinado de los componentes mecánicos del cojinete de empuje para la ubicación de los diferentes sensores.
- Inspección de los sensores, cableado e instalación de los sensores de proximidad y temperatura.
- Verificación del Conexionado de las Señales de desplazamiento y Temperatura al Rack 3500.
- Configuración del sistema de monitoreo RACK 3500.
- Verificación del óptimo funcionamiento de los diferentes módulos del RACK 3500.
- Pruebas de lazo de las señales de temperatura y desplazamiento axial de la Unidad N°3 y su respectivo ajuste para las señales de alerta y alarma.

Cabe anotar que de las actividades programadas las que colocan la unidad en indisponibilidad son el desmontaje, el maquinado de los elementos del cojinete de empuje y la respectiva instalación de los sensores. Las demás actividades se pueden realizar sin la necesidad de tener la unidad indisponible.

2.1 DISTRIBUCION DE LOS EQUIPOS

El gabinete donde se instaló el RACK 3500 se ubicó en la sala de control de la Unidad N°3 en la Foto 15 se muestra el gabinete colocado en la sala de control. Este gabinete está pintado con pintura dieléctrica y tiene barraje de tierra además tiene la particularidad de que se le pueden desmontar todas las tapas que lo conforman facilitando los trabajos que se puedan realizar en él. Este gabinete es fabricado en Bucaramanga por industrias ONAR Ltda.

El gabinete de RACK se ancló al gabinete de control de la Unidad N°3 que se encuentra a su lado mediante tres tornillos con tuerca de 9mm de diámetro por 100mm de largo con 26mm de rosca cabeza hexagonal grado 2, con esto se evitó la ruptura del piso del cuarto de control para poder asegurarlo.

La cubierta de los sensores de proximidad se ubicó junto a la puerta de acceso al cojinete de empuje a una distancia aproximadamente de 30 metros en línea recta del cuarto de control en la Foto 16 se puede observar la ubicación de la cubierta.

La cubierta se aseguró al chasis de la Unidad N°3 soldando cuatro tornillos de 9mm de diámetro por 40mm de largo con 26mm de rosca cabeza hexagonal grado 2.

Después de la ubicación de la cubierta y el gabinete se procedió a realizar el cableado de campo al interior de la unidad para todos los sensores y las alarmas, en la Figura 2 se muestra el cableado de campo en el interior de unidad.

Foto 15.Ubicación del gabinete del RACK 3500.



Fuente autor de proyecto.

Foto 16.Cubierta de los sensores de proximidad.

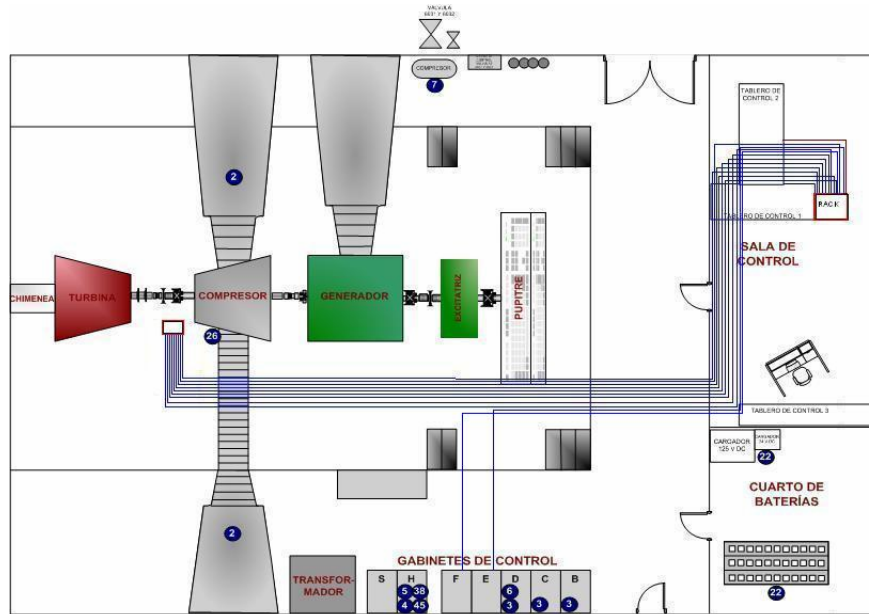


Fuente autor de proyecto.

Para el cableado de campo se utilizó cable de Instrumentación marca CENTELSA para uso en bandejas, conductores a pares con pantalla individual y general.

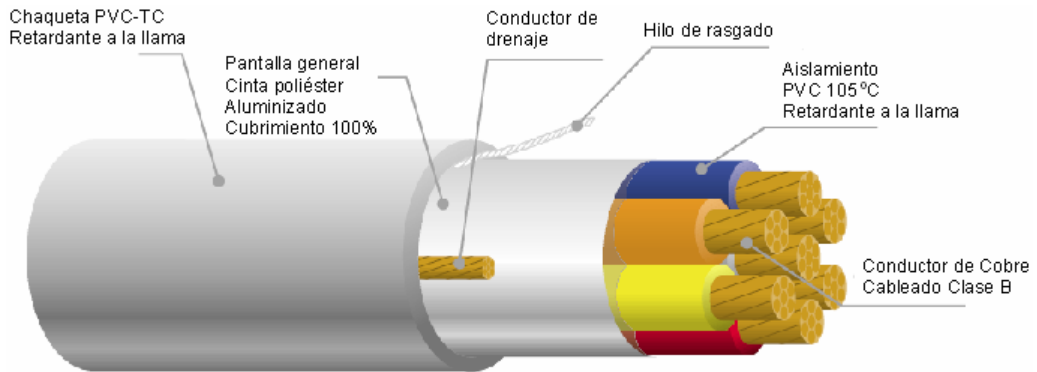
Este cable de instrumentación está conformado por un conductor en cobre, aislamiento en PVC, dos conductores cableados conforman un par, con pantalla individual en cinta de poliéster aluminizado con conductor de drenaje. Los pares se cablean entre sí, y sobre el conjunto se aplica una pantalla general en cinta de poliéster aluminizado con conductor de drenaje y chaqueta exterior en PVC. En la Figura 3 se muestra la conformación del cable

Figura 2. Cableado de campo en el interior de la Unidad N°3.



Fuente autor de proyecto.

Figura 3. Cable de instrumentación y control.



www.centelsa.com/CablesdeInstrumentacion.

Se utilizaron 9 líneas de cable de instrumentación para las 6 RTD's y los 2 sensores de proximidad y una línea extra para tener de repuesto, de una longitud de 40 metros cada línea además fue necesario utilizar otras 2 líneas de cable de instrumentación para llevar las señales de alarma y disparo a los gabinetes de control de la Unidad No. 3 que se muestran en la Foto 17 donde se encuentran los relés de alarma y disparo de la unidad estas dos líneas tiene una longitud de 20 metros cada una. En total se utilizaron 400 metros de cable de instrumentación en el cableado de campo.

Foto 17. Gabinetes de control de la Unidad N°3.



Fuente autor de proyecto.

Tabla 11. Especificaciones del cable de instrumentación.

ESPECIFICACIONES	CALIBRE 18 AWG
Resistencia eléctrica D.C. a 20°C(Ω/Km)	21.4
Capacitancia nominal (nF/Km)	172
Inductancia nominal (mH/Km)	0.31
Temperatura de operación	105°C
Tensión de operación	300/600 voltios según (NTC2250)
Conductor	Cable de cobre suave clase B (7hilos)
Aislamiento	PVC Retardante a la llama.
Pantalla general	Cinta de poliéster aluminizado y conductor de drenaje en cobre estañado, calibre 20 AWG con un cubrimiento del 100%.
Numero de conductores	3
Espesor de la chaqueta	0.89mm
Diámetro externo	6.27mm
Máxima tensión de halado	21kgf
Mínimo radio de curvatura	63mm
Peso total	60 kg/Km

www.centelsa.com/CablesdeInstrumentacion.

2.2 CONEXIONES ELECTRICAS

Para las conexiones eléctricas del cableado de campo con los sensores de temperatura y proximidad, se utilizó un conjunto de borneras colocadas dentro de la cubierta de los sensores de proximidad, en la Foto 18 se muestra esta conexión. Estas conexiones fueron debidamente marcadas con productos marca DEXSON que son especialistas en este campo.

Para el cableado interno del gabinete donde se ubicó el RACK se implementó una bornera para las conexiones del RACK con los sensores así como su alimentación DC, además de las conexiones de los módulos de Relays con los gabinetes de control de la Unidad N°3. En la Foto 19 se muestra las conexiones internas del gabinete.

Foto 18. Bornera en la cubierta de los sensores de proximidad.



Fuente autor de proyecto.

Foto 19. Bornera en el gabinete del RACK.

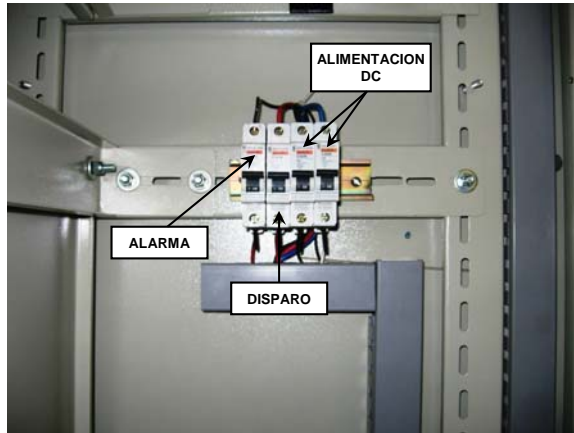


Fuente autor de proyecto.

Para la protección de los equipos se colocaron 2 interruptores automáticos (breakers) de 5 amperios para la conexión de la fuente de poder del RACK a la alimentación DC de la unidad provista por el banco de baterías. De igual forma se colocaron 2 interruptores automáticos (breakers) de 2 amperios para la alimentación del módulo de Relays 3500/32 para las señales de alarma y disparo. En la Foto 20 se muestran los interruptores automáticos (breakers) de protección de los equipos.

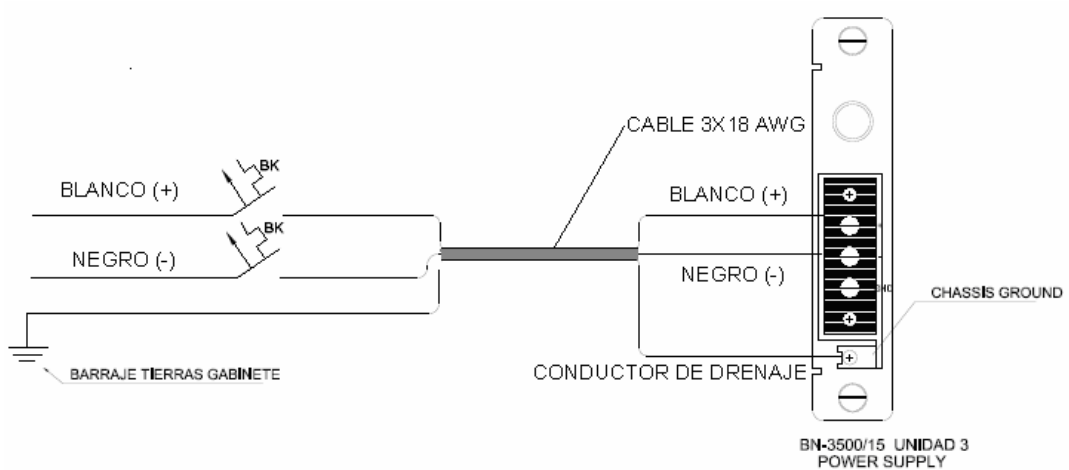
En la Figura 4 se muestra el diagrama de conexión eléctrica de la fuente de alimentación 3500/15. La fuente de alimentación se conectó a +125 VDC que provienen del banco de baterías de la unidad.

Foto 20. Interruptores automáticos (breakers) del RACK.



Fuente autor de proyecto.

Figura 4. Diagrama de conexión eléctrica de la fuente de alimentación 3500/15.



Fuente autor de proyecto.

El modulo de interfaz 3500/20 tiene un interruptor de hardware que se utiliza para hacer Reset a las alarmas del sistema de monitoreo, para fines prácticos el modulo tiene la opción de hacer una conexión externa para implementar un interruptor donde sea mas practico ya que para acceder al interruptor ubicado en el frente del modulo seria necesario abrir la puerta del gabinete la cual esta con llave.

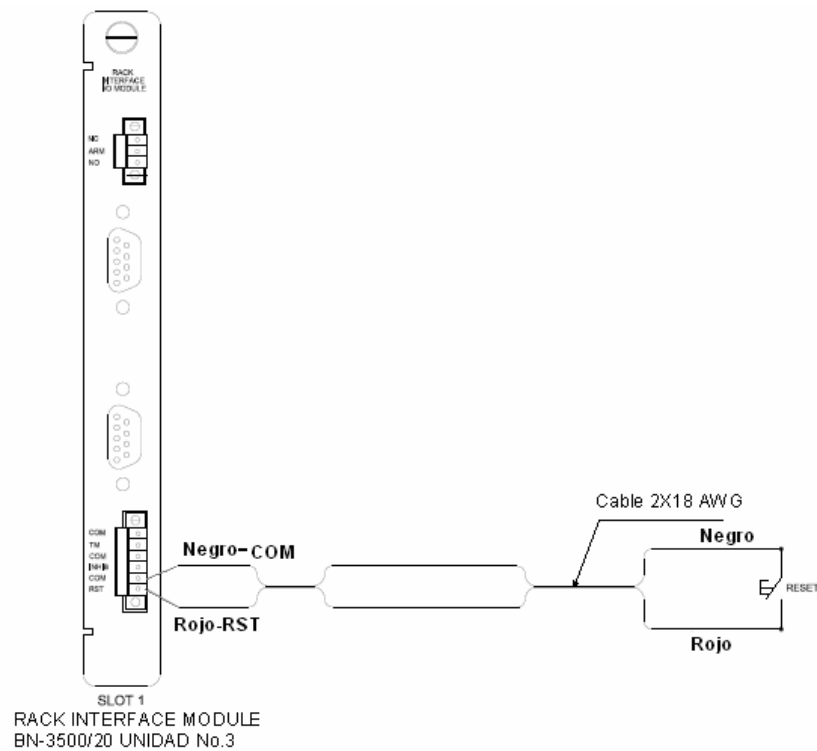
En la Foto 21 se muestra la ubicación del botón de reset que se instaló en la puerta del gabinete, en la Figura 5 se muestra el diagrama eléctrico de conexión del botón de Reset.

Foto 21. Ubicación del botón de Reset.



Fuente autor de proyecto.

Figura 5. Diagrama de conexión eléctrico del botón de Reset.



Fuente autor de proyecto.

El modulo de desplazamiento axial 3500/42 está diseñado para recibir la señal de cuatro sensores, para el montaje realizado en la unidad se utilizaron los dos primeros canales, en la Figura 6 se muestra el diagrama eléctrico de conexión de los dos sensores de proximidad.

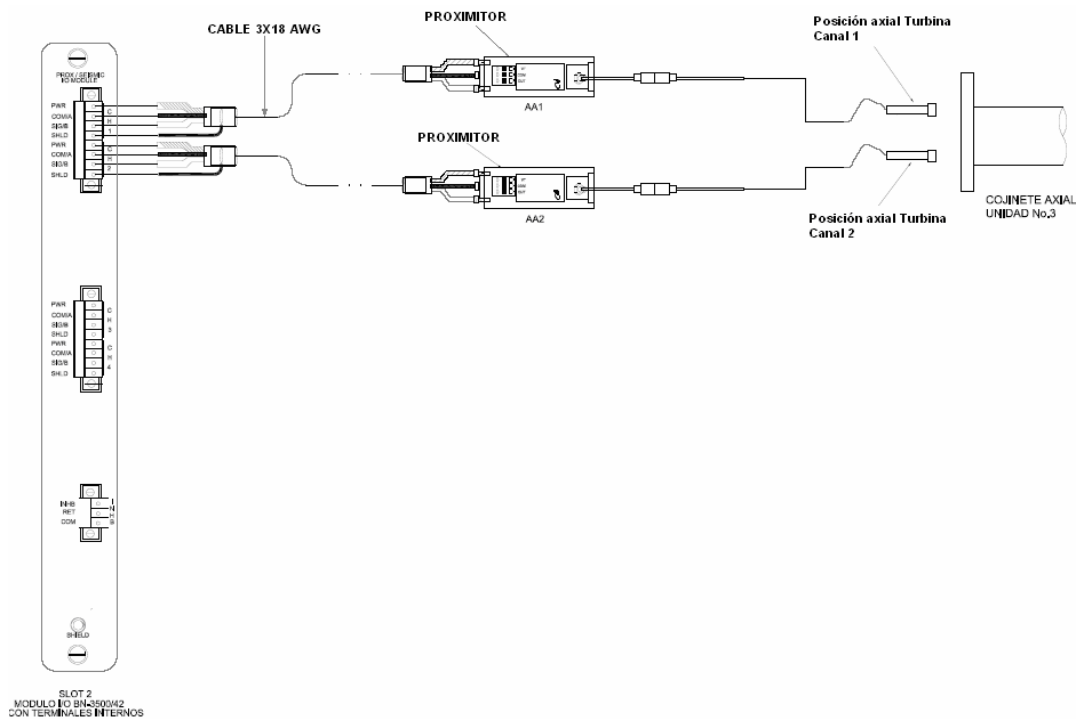
En el Anexo D se muestra un diagrama eléctrico mas detallado de la forma como se deben conectar los sensores de proximidad al modulo 3500/42.

El modulo de temperaturas 3500/60 está diseñado para recibir la señal de 6 sensores, en la Unidad N°3 se utilizaron los 6 canales disponibles para recibir la información del cojinete de empuje colocando cuatro RTD's del lado de la turbina y dos RTD's del lado del compresor.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de conexión eléctrica de las RTD's con el modulo de temperatura 3500/60.

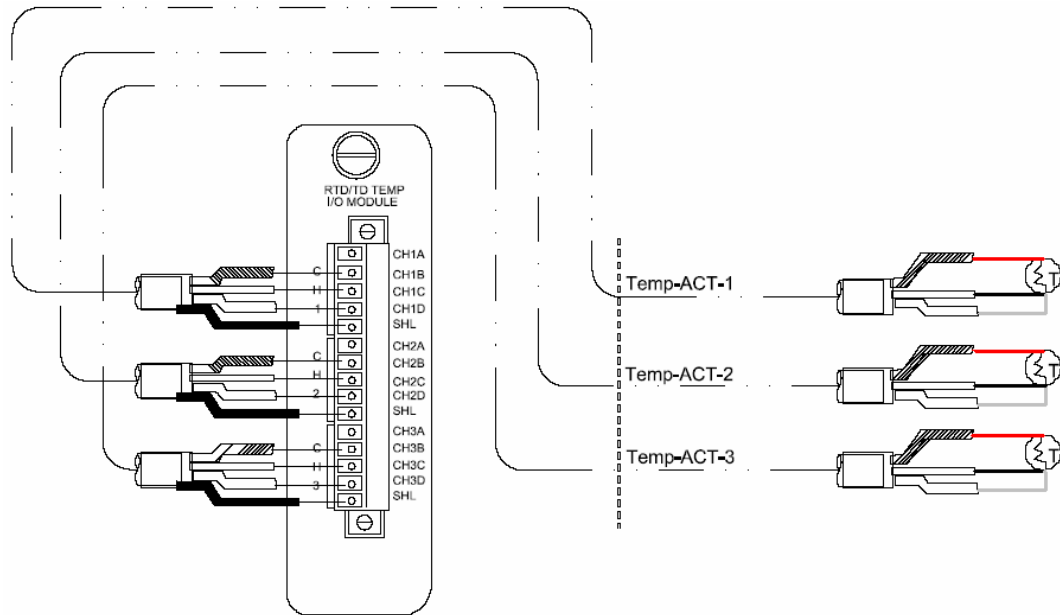
El modulo de Relés 3500/32 tiene la opción de colocar los Relés en dos estados diferentes los cuales son normalmente abierto o normalmente cerrados. Estos Relés operan cuando se cumpla una de las condiciones configuradas en el sistema de monitoreo ya sea una alarma o un disparo, para la Unidad N°3 se utilizo la opción de normalmente abierto de tal manera que cuando se presente una falla ya sea de alarma o disparo el Relé se cierran permitiendo el paso de la señal +125 VDC al gabinete de alarmas y disparos de la unidad. En la Figura 8 se muestra un diagrama de funcionamiento de los Relés en sus dos configuraciones.

Figura 6. Diagrama de conexión eléctrica de los sensores de proximidad.



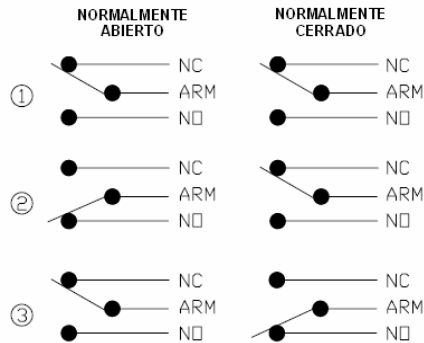
Fuente autor de proyecto.

Figura 7. Diagrama de conexión eléctrica de las RTD's.



Fuente autor de proyecto.

Figura 8. Funcionamiento de los Relés.

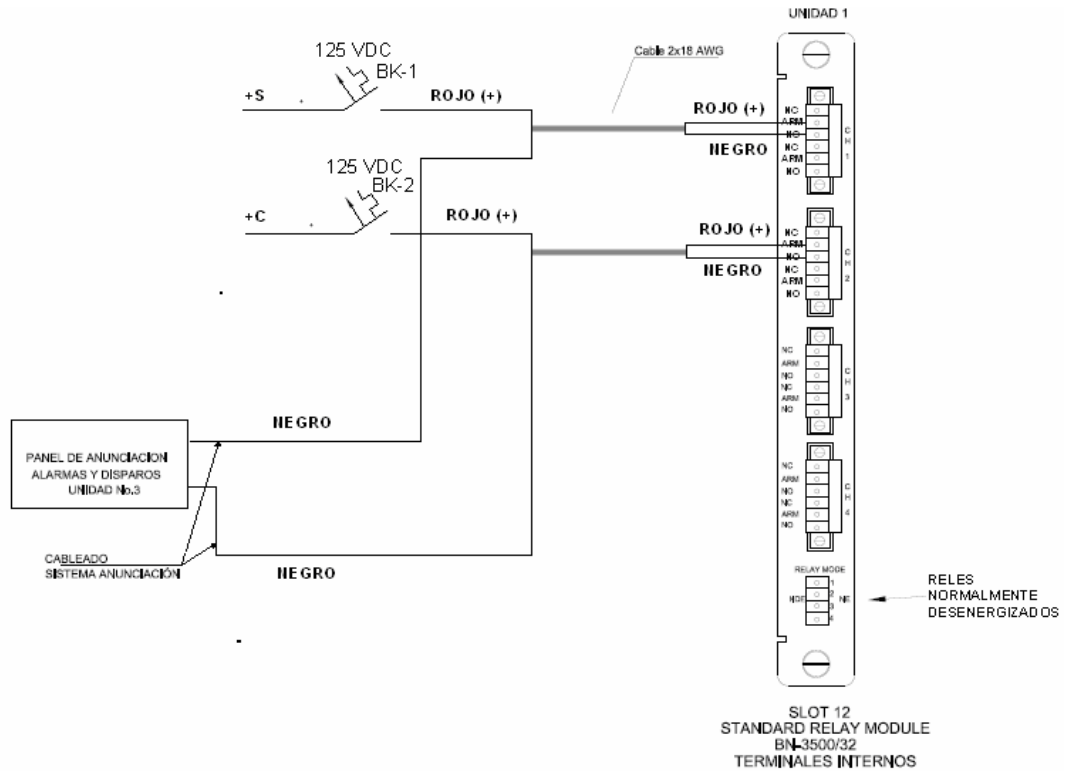


Fuente autor de proyecto.

- (1) Sin alimentación.
- (2) Con alimentación / Sin alarma.
- (3) Con alimentación / En alarma.

En la Figura 9 se muestra el diagrama de conexión eléctrica del módulo de relés, la señal de +125 VDC Figura en el diagrama como +S (señalización), +C (control) ésta nomenclatura la utiliza el cableado eléctrico de la unidad para diferenciar las diferentes señales ya sean de control o señalización. El canal uno del módulo se utilizó para las señales de alarma y canal dos para las señales de disparo.

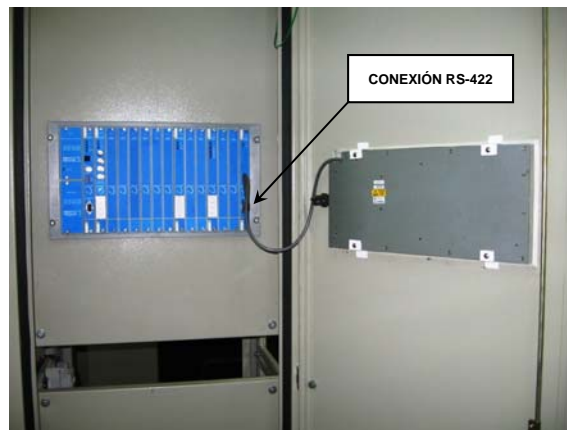
Figura 9. Diagrama eléctrico del módulo de Reles.



Fuente autor de proyecto.

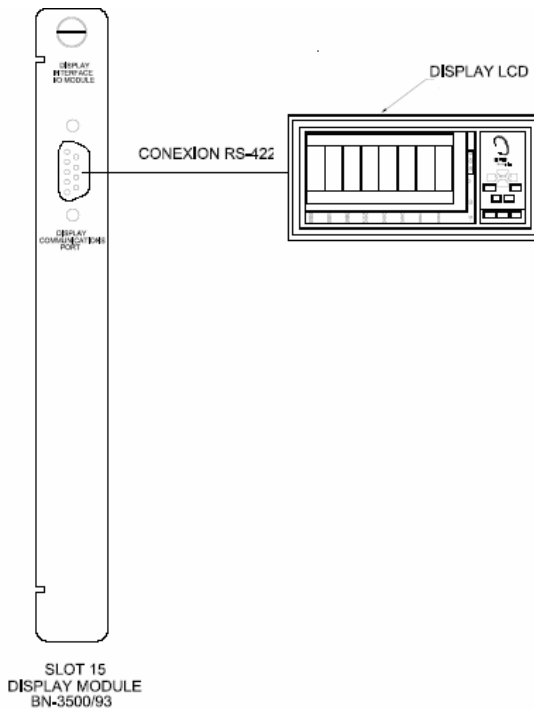
El módulo de Display 3500/93 se conecta mediante una conexión RS-422 al Display de cristal líquido ubicado en la puerta del gabinete. En la Foto 22 se muestra la conexión de este módulo. Para mayor claridad en la Figura 10 se muestra un diagrama de conexión de este módulo.

Foto 22. Conexión del módulo de Display con la pantalla LCD.



Fuente autor de proyecto.

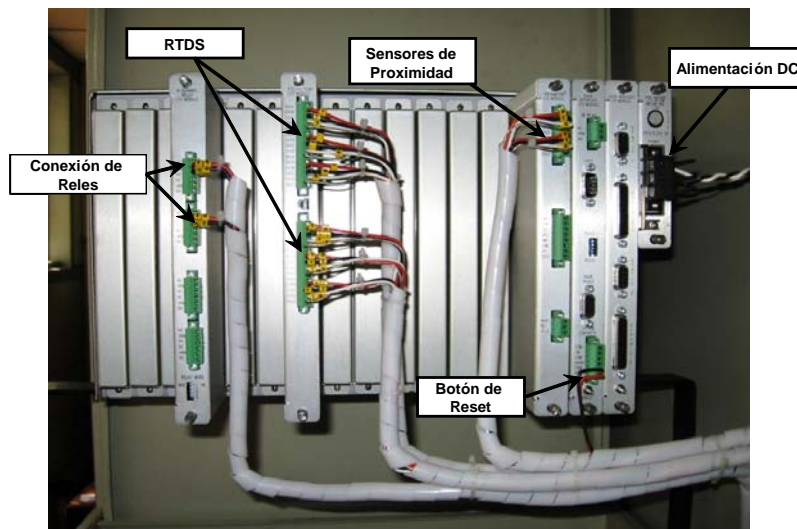
Figura 10. Diagrama de conexión del modulo de Display.



Fuente autor de proyecto.

En la Foto 23 se muestran todas las conexiones de cableado del sistema de monitoreo las cuales provienen de la bornera del gabinete que se muestra en la Foto 19, de los Interruptores automáticos (breakers) de protección de la Foto 20 y del botón de reset que se muestra en la Foto 21.

Foto 23. Conexiones del sistema de monitoreo RACK 3500.



Fuente autor de proyecto.

2.3 MONTAJE MECANICO

Para el montaje mecánico fue necesaria la elaboración de planos de Ingeniería para la elaboración de los maquinados en los componentes del cojinete Axial de la Unidad No. 3, para la instalación de los sensores de proximidad y temperaturas, y el ruteo de sus respectivos cables hacia el exterior de la máquina.

Los planos de ingeniería fueron elaborados por los ingenieros de VIBRAN CIA. Ltda. Compañía distribuidora de los productos BENTLY NEVADA para Colombia. Los planos de las piezas maquinadas se muestran en el Anexo B.

Los componentes mecánicos que conforman el cojinete de empuje se muestran en la Foto 24, Foto 25, Foto 26. De estos componentes fue necesario maquinar la tapa del cojinete empuje, el casquete superior e inferior del cojinete de empuje, 4 porta dados y 6 dados.

El maquinado de las piezas se realizó en industrias Tanuzi, la cual cuenta con los equipos necesarios para realizar el trabajo con la precisión necesaria para la instalación de los sensores de temperatura, las puntas de prueba de los sensores de proximidad, los orificios en la tapa del cojinete de empuje para instalar las cajas de distribución del cableado y los maquinados para el ruteo de los cables de los sensores dentro del cojinete.

Para la instalación de las RTD's se maquinaron seis dados, cuatro del lado de la turbina y dos del lado del compresor. El maquinado consistió en hacer un orificio de 7.92 mm de diámetro con un margen de error de ± 0.02 mm.

Foto 24. Tapa del cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

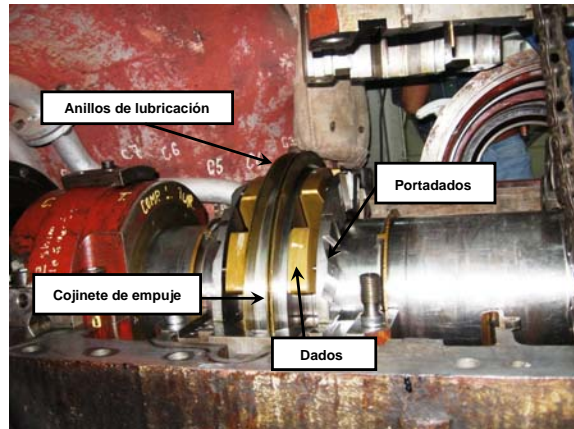
Foto 25. Casquete superior del cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

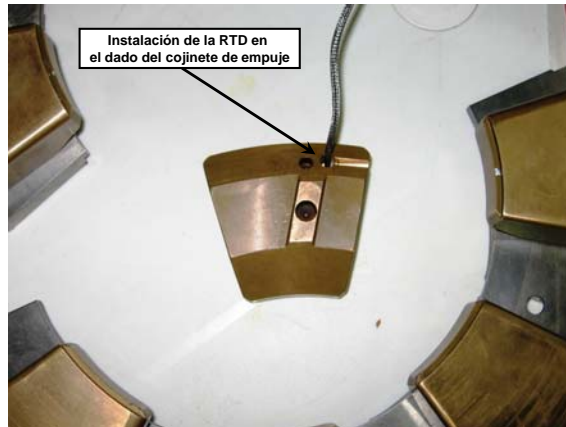
La profundidad del orificio dependía del desgaste de cada dado ya que era necesario que la RTD estuviera a 1mm de la pared que está en contacto con el cojinete de empuje, en los planos del Anexo B se muestra el detalle del maquinado. También fue necesario hacer un canal en el dado para el ruteo del cable de la RTD este canal tiene un ancho de 4mm y profundidad de 5mm. En la Foto 27 se muestra un dado maquinado con la RTD puesta.

Foto 26. Cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

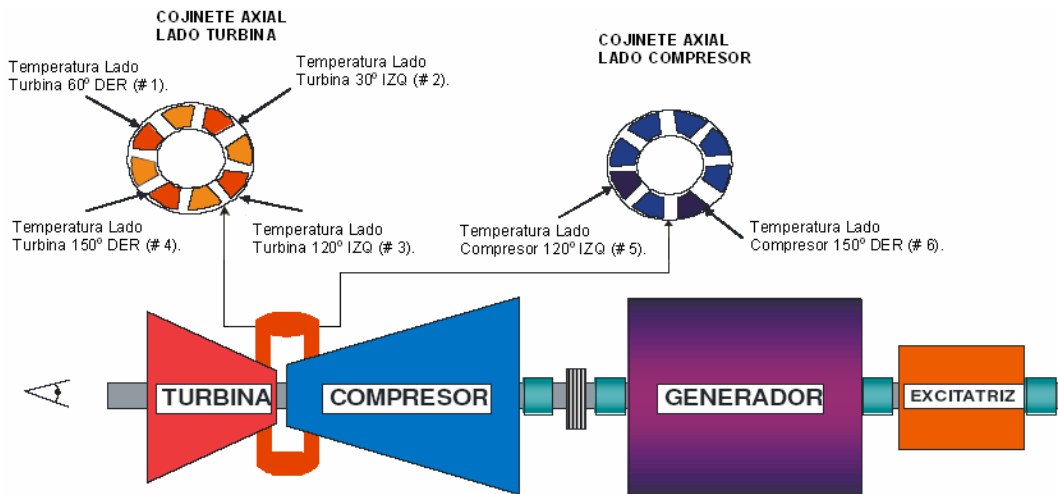
Foto 27. Instalación de la RTD en el dado del cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

En la Figura 11 se muestra la ubicación de los 6 dados maquinados, se colocaron 4 RTD's del lado de la turbina por que se esperaba que el desplazamiento del grupo turbocompresor fuera hacia ese lado cosa que no ocurrió ya que la inercia del compresor hace que el grupo turbo compresor se desplace hacia el compresor.

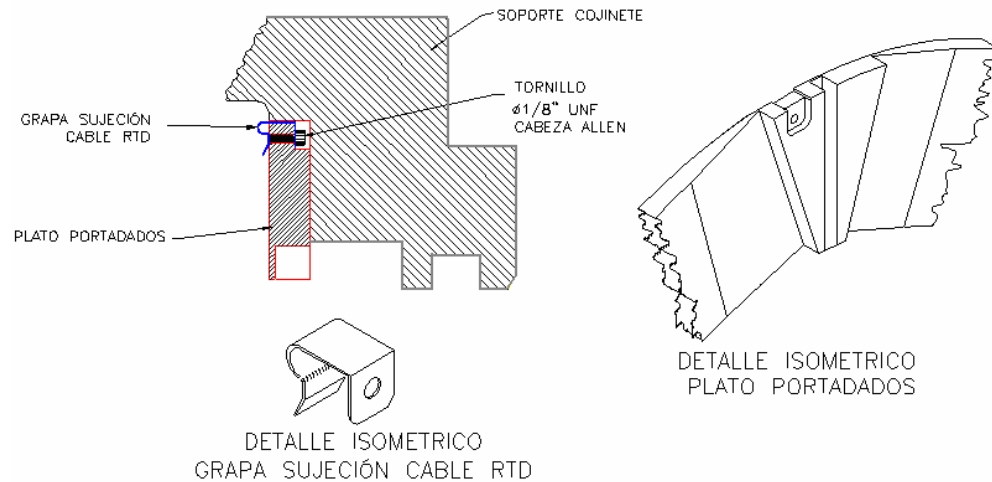
Figura 11. Ubicación de los dados maquinados en el cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

En los portadados se realizó un maquinado para colocar unas grapas para asegurar el cable de las RTD's en la Figura 12 se muestra el maquinado de los platos portadados, en el Anexo B se muestra el plano en detalle.

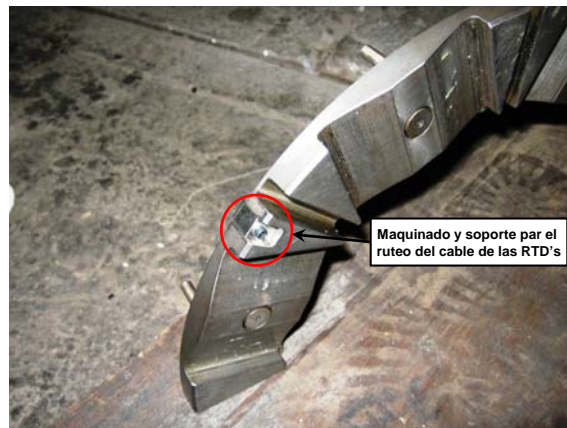
Figura 12. Detalle del maquinado del plato porta dados.



Fuente autor de proyecto.

En la Foto 28, Foto 29, Foto 30, se muestra el maquinado y el montaje de las grapas para el ruteo del cable de las RTD's, junto con el montaje de los dados en el portadados con el cable asegurado con las grapas de sujeción.

Foto 28. Maquinado del plato porta dados.

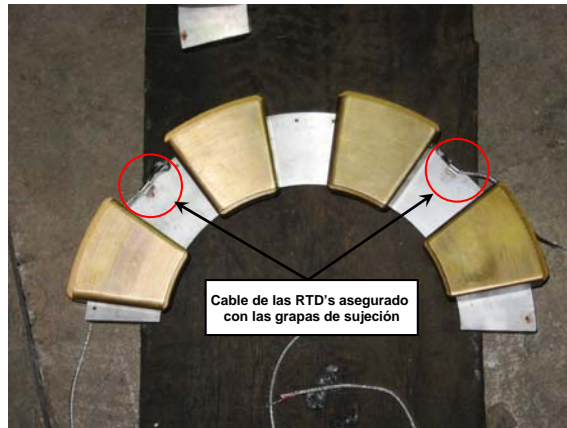


Fuente autor de proyecto.

En el casquete inferior del cojinete de empuje se realizó un maquinado de cuatro canales en las esquinas y cuatro perforaciones para poder rutear y asegurar los cables de las RTD's fuera del cojinete de empuje en las Foto 31, Foto 32, Foto 33, se muestra este maquinado y la forma como se aseguró el cableado. Los planos detallados del maquinado se muestran en el Anexo B.

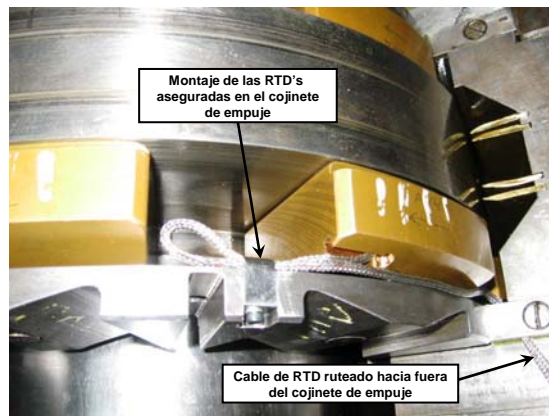
Para poder asegurar los cables de las RTD's en los canales se colocó una platina asegurada con un tornillo de (1/8) de pulgada de rosca fina cabeza plana.

Foto 29. Montaje en el porta dados con las RTD's aseguradas.



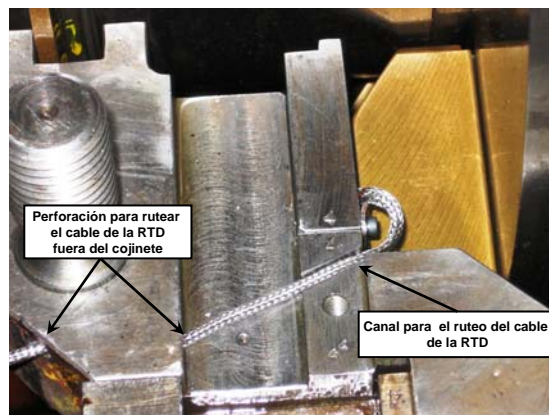
Fuente autor de proyecto.

Foto 30. Montaje de las RTD's en el cojinete de empuje.



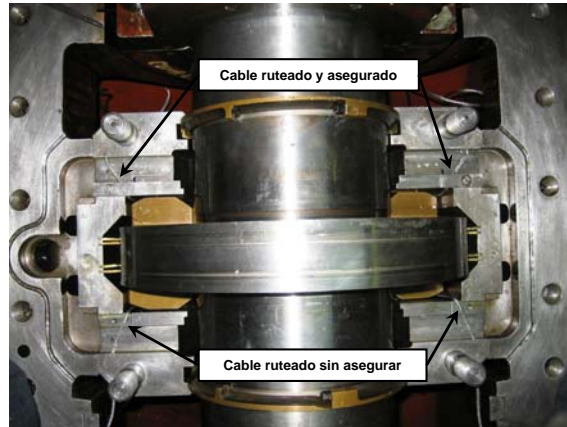
Fuente autor de proyecto.

Foto 31. Ruteo del cable de la RTD fuera del cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

Foto 32. Vista superior del cojinete de empuje con el ruteo de los cables de las RTD's.



Fuente autor de proyecto.

Foto 33. Ruteo de los cables de RTD con los casquetes del cojinete empuje asegurados.



Fuente autor de proyecto.

En el casquete superior del cojinete de empuje se realizó el maquinado para la instalación de las dos puntas de los sensores de proximidad, en el ANEXO B se muestra en detalle el plano con las medidas para el maquinado. El maquinado consistió en abrir dos orificios de 9.525mm de diámetro con una profundidad de 81mm ubicados a una distancia de 154mm medida desde el origen de los ejes de coordenadas, con ángulos de 45 y 135 grados medidos en sentido antihorario. En la Foto 34 se muestra las puntas de los sensores de proximidad instalados en el cojinete de empuje.

Para la calibración y verificación del funcionamiento de los sensores de proximidad se utilizó un micrómetro de precisión TK-3 de BENTLY NEVADA, este equipo lo suministro la compañía VIBRAN a la cual se le compró los equipos del montaje y es la responsable de la garantía de los equipos. En la Foto 35 se muestra el micrómetro de precisión.

El procedimiento para la obtención de las curvas de calibración se describe en el Anexo C, junto con las curvas de calibración obtenidas.

En la tapa del cojinete de empuje se realizó un maquinado que consistió en abrir cuatro orificios de (3/4) de pulgada de diámetro con un ángulo de 45 grados, en el Anexo B se muestra el plano en detalle del maquinado.

Estos orificios se utilizaron para instalación de las cajas de distribución para el cableado de los sensores de desplazamiento y temperatura en la Foto 36 se muestra la instalación de las mismas. Las cajas de distribución se conectaron entre si con manguera flexible de (3/4) de pulgada fabricada en aluminio y recubierta en plástico.

Foto 34. Puntas de los sensores de proximidad instaladas en el cojinete de empuje.



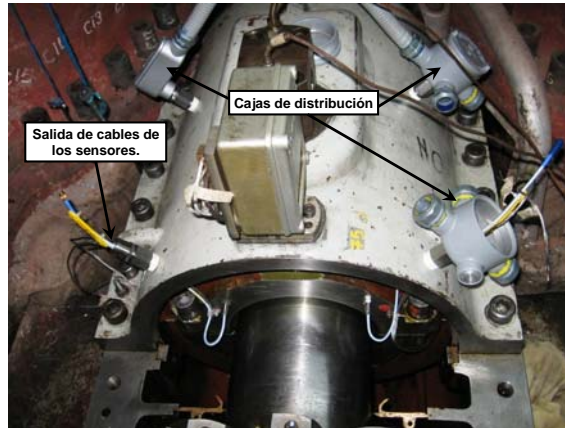
Fuente autor de proyecto.

Foto 35. Micrómetro de precisión TK-3.



Fuente autor de proyecto.

Foto 36. Instalación de las cajas de distribución en la tapa del cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

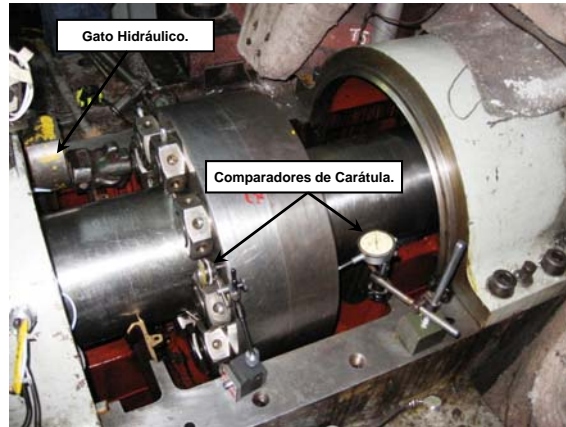
2.4 AJUSTES

Para la calibración final de los equipos de monitoreo de temperatura y desplazamiento fue necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No se tenían datos de la temperatura del cojinete de empuje ya que nunca se había medido, por esta razón cuando se fue a configurar las alarmas por temperatura fue necesario colocar en marcha la Unidad No.3 y observar la temperatura que indicaba el monitor y colocar estas alarmas con base en la experiencia de los ingenieros de la planta.
- Las alarmas por temperatura actúan en el equipo de monitoreo RACK 3500 pero no fueron conectadas a los Reles de alarma y disparo de la Unidad No.3, por que no se tienen datos históricos del comportamiento de la temperatura en el cojinete de empuje y era muy riesgoso que una alarma por temperatura inhabilitara la unidad sin ser necesario.
- Se incluyó la variable de la temperatura del cojinete de empuje en la planilla de monitoreo del operador de la unidad y de esta forma tener datos históricos del comportamiento de la temperatura y poder configurar las alarmas con base en los datos recolectados.
- Para la configuración de las alarmas por el desplazamiento axial fue necesario mover todo el grupo turbocompresor con gatos hidráulicos con los sensores conectados para poder saber con exactitud el máximo desplazamiento del grupo turbocompresor y comparar este valor con el del manual de la Unidad No.3.

Para poder medir el desplazamiento del grupo turbocompresor con otro medio que no fuera el RACK 3500 se utilizaron dos comparadores de carátula marca MITUTOYO, de esta manera obtener otra medida de respaldo para la calibración de los sensores de proximidad. Con base en los planos mecánicos que vienen de fábrica con la unidad, los manuales de operación de la misma y de los datos recolectados del desplazamiento con los gatos hidráulicos se pudo configurar las alarmas para el desplazamiento axial. En la Foto 37 se muestra el montaje con los comparadores de carátula para la calibración de los sensores de proximidad.

Foto 37. Montaje para la calibración de los sensores de proximidad.

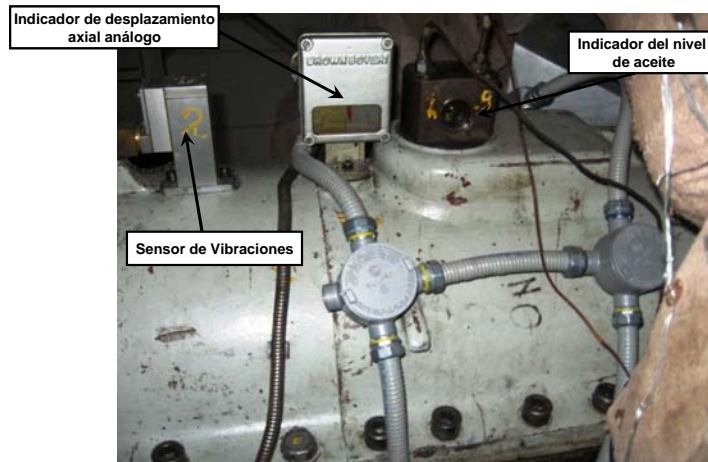


Fuente autor de proyecto.

En el Anexo C se muestra la configuración final de cada modulo, esta es la configuración que muestra el equipo cuando se ha terminado de configurar en su totalidad y se puede imprimir para tener una copia de seguridad en caso de que el equipo se llegue a desconfigurar.

En la Foto 38 se muestra el montaje final con la tapa del cojinete de empuje colocada.

Foto 38. Montaje final en el cojinete de empuje.



Fuente autor de proyecto.

3. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS INSTALADOS

Los sistemas de supervisión o monitoreo se diseñan para aceptar una gran variedad de entradas de diferentes transductores y estar continuamente supervisando y exhibiendo parámetros de la maquinaria a la cual están conectados.

Estos sistemas pueden generar alarmas cuando las condiciones de la maquinaria excedan los límites establecidos por el usuario, estas alarmas se pueden utilizar para cerrar automáticamente la maquinaria o para anunciar problemas de la maquinaria a los operadores.

Con el sistema de monitoreo instalado por parte de la Electrificadora de Santander en la unidad No. 3 de termopalenque se logró mejorar los siguientes aspectos:

- Prevención de condiciones inseguras gracias a la detección de fallas peligrosas o catastróficas dando como resultado el aumento en la seguridad de la planta.
- Contribución en el mejoramiento de la calidad del producto al monitorear sensibles variaciones del proceso causadas por el incorrecto funcionamiento de los equipos.
- Maximizar la disponibilidad de la planta ya que permite monitorear continuamente la maquinaria de una manera más eficiente ya que evita posibles daños.
- Reducción de gastos de la planta ya que permite establecer condiciones para reducir al mínimo las paradas imprevistas y así hacer un uso mas eficiente de los recursos de mantenimiento.

Para la protección de maquinaria crítica se utilizan sistemas permanentes de control continuo. Estos sistemas pueden desactivar la maquinaria en caso de que se presente una alarma que pueda dañar la maquinaria, esto lo pueden hacer sin la interacción humana.

3.1 SISTEMA DE MONITOREO RACK 3500

El sistema de monitoreo permite medir y supervisar continuamente una variedad de parámetros, proporcionando la información crucial para la identificación con anticipación de los problemas de la maquinaria tales como desequilibrio, desalineamiento, grietas del eje, que puedan llevar a fallas.

Este sistema está conformado por un RAK 3500 de 16 ranuras donde se insertan las tarjetas que hacen parte del sistema de monitoreo según lo muestra la Foto 39.

Foto 39. RACK 3500.



Fuente autor de proyecto.

El sistema de monitoreo RACK 3500 trae las siguientes opciones para la adquisición de variables:

Tabla 12. Opciones del sistema de monitoreo RACK 3500.

REFERENCIA DE LA TARJETA	TIPO DE MONITOREO	NUMERO DE CANALES
3500/40M	<ul style="list-style-type: none"> • Vibración radial. • Posición axial. • Excentricidad. • Expansión diferencial 	Cuatro
3500/42M	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleración. • Velocidad. • Eje absoluto. • Región circular de aceptación. 	Cuatro
3500/44M	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de las funciones de una turbina de gas. 	Cuatro
3500/45	<ul style="list-style-type: none"> • Posición de válvula. • Caso de expansión. • Expansión diferencial complementaria. • Rampa dual de la expansión diferencial. • Patrón de la rampa sencilla de la expansión diferencial. 	Cuatro
3500/46M	<ul style="list-style-type: none"> • Vibración radial hídrica. 	Cuatro
3500/50	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón de tacómetro. • Tacómetro de la aceleración de rotor. • Tacómetro de la velocidad-cero. 	Dos
3500/53	<ul style="list-style-type: none"> • Tacómetro de sobrevelocidad. 	Uno
3500/60	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Temperatura diferencial. 	Seis
3500/62	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos variables. 	Seis
3500/63	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de gas peligroso. 	Seis
3500/64	<ul style="list-style-type: none"> • Presión dinámica 	Cuatro

Fuente autor de proyecto.

Para la unidad N°3 de Termopalenque se implementó el sistema para monitorear el desplazamiento axial y la temperatura del cojinete de empuje, así como la visualización de los parámetros a través de una pantalla de cristal líquido. En las Foto 40, Foto 41 se muestra el sistema implementado.

Foto 40. Sistema de monitoreo RACK 3500 implementado.



Fuente autor de proyecto.

- (1) Fuente de alimentación 3500/15.
- (2) Modulo de la interfaz del RACK 3500/20.
- (3) Modulo del desplazamiento axial 3500/42M.
- (4) Modulo del monitor de temperatura 3500/60.
- (5) Modulo de Relay de 4 canales 3500/32.
- (6) Modulo de interfaz del display 3500/93.

3.2 FUENTE DE ALIMENTACION

Las fuentes de alimentación 3500/15 que se muestra en la Foto 42, son módulos de mitad de altura y debe ser instalado en las ranuras especialmente diseñadas en el lado izquierdo del RACK. El RACK 3500 puede contener una o dos fuentes de alimentación (cualquier combinación de AC y/o DC) y cualquier fuente puede accionar un RACK completo.

Foto 41. Display del sistema de monitoreo RACK 3500.



Fuente autor de proyecto.

Foto 42. Fuente de alimentación 3500/15.



Fuente autor de proyecto.

Si está instalada, la segunda fuente actúa como reserva para la fuente primaria. Cuando dos fuentes de alimentación están instaladas en un RACK, la fuente en la ranura más baja actúa como la fuente de reserva. El quitar o la inserción de cualquier módulo de fuente de alimentación no interrumpirá la operación del RACK mientras la segunda fuente de alimentación esté instalada.

Las fuentes de alimentación 3500/15 aceptan una amplia gama de los voltajes de entrada y los convierten a los voltajes aceptables para uso de otros módulos del 3500. Tres versiones de la fuente de alimentación están disponibles con el sistema de protección de maquinaria de la serie 3500 como sigue:

- Fuente de alimentación AC.
- Fuente de alimentación de alto voltaje DC.
- Fuente de alimentación de bajo voltaje DC.

Para el montaje realizado en la unidad N°3 de Termopalenque se utilizó la fuente de alimentación de alto voltaje DC, ya que la alimentación del voltaje DC de la unidad es suministrada por un banco de baterías que se muestra en la Foto 43, el cual esta conformado por 60 baterías de 2 voltios aproximadamente cada una que alimenta todos los instrumentos de medida de la unidad. En este caso se alimentó la fuente de voltaje con 125 Voltios DC. Además la alimentación AC proviene de la subestación de Termopalenque la cual tiene numerosos picos de tensión que podrían dañar los equipos.

Foto 43. Banco de baterías.



Fuente autor de proyecto.

Tabla 13. Especificaciones de la fuente de tensión.

ESPECIFICACIONES	
Voltaje de entrada	88 a 140 Vdc
Corriente con el RACK lleno	2.5 A (máximo)
Temperatura de operación	-30 °C a +65 °C
Temperatura de almacenaje	- 40 °C a +85 °C
Humedad	95 % no condensado
Peso	0.34 kg

Fuente autor de proyecto.

3.3 MODULO DE INTERFAZ DEL RACK

El módulo de interfaz del RACK que se muestra en la Foto 44, es el interfaz primario del RACK 3500. Apoya un protocolo propietario usado para configurar el RACK y para recuperar la información de la maquinaria. El modulo de interfaz debe ser situado en la ranura 1 del RACK al lado de las fuentes de alimentación.

El modulo de interfaz proporciona las conexiones necesarias para apoyar las comunicaciones externas con otros equipos de Bently Nevada, es decir en el caso que se quiera configurar una red de sistemas de monitoreo, posee procesadores tales como TDXnet, TDIX, y DDIX. El modulo de interfaz proporciona ciertas funciones comunes al RACK entero y no hace parte de la trayectoria de supervisión y no tiene ningún efecto en la operación apropiada o normal del sistema de supervisión total. Un modulo de interfaz se requiere por RACK.

Tabla 14. Especificaciones del modulo de interfaz.

ESPECIFICACIONES	
Consumo de potencia	4.75 W, Normalmente.
Comunicación de datos en el panel frontal	Comunicación serial a través del puerto RS232 con una tasa máxima de comunicación 38.4 k baudios.
Comunicación de datos en el panel posterior	Comunicación serial a través del puerto RS422 con un MODEM de comunicación interno de 14.4 k baudios.
Temperatura de operación	-30 °C a + 65 °C
Temperatura de almacenaje	-40 °C a + 85 °C
Peso	0.91 kg

Fuente autor de proyecto.

Foto 44. Modulo de interfaz del RACK.



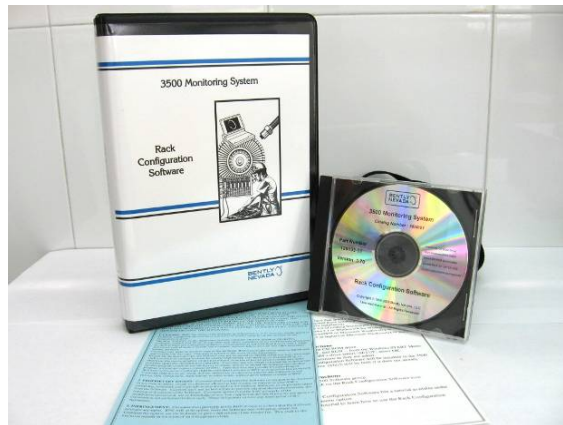
Fuente autor de proyecto.

- (1) LEDs: Indican el estado del funcionamiento del modulo.
- (2) Interruptores de Hardware.
- (3) Puerto de configuración RS-232.

El protocolo de comunicación así como el software de configuración del RACK 3500 son propiedad intelectual de Bently Nevada el cual se adquiere por separado ya que no viene con los equipos, en la Foto 45 se muestra el CD de instalación.

En la Figura 13, se puede observar la parte posterior del modulo de interfaz donde se encuentran los conectores de entradas y salidas para las diferentes aplicaciones. Estas aplicaciones son los conectores necesarios para conectar varios RACK 3500 en una red, también trae un modulo de Relays que se pueden utilizar para indicar si el estado del RACK es aceptable, además trae unos contactos externos que se pueden utilizar para inhibir una alarma del RACK así como para hacerle un reset al RACK.

Foto 45. Software de configuración del RACK 3500.



Fuente autor de proyecto.

3.4 MODULO DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD

El modulo de los sensores de proximidad 3500/42M, que se muestra en la Foto 46, es un monitor 4-canales que acepta la entrada de transductores de proximidad y de transductores sísmicos, con las señales recibidas puede hacer varias medidas de la vibración y de la posición, y comparar las señales con las alarmas programadas por el usuario. Cada canal de los 3500/42M se puede programar usando el software de configuración del RACK 3500 para realizar cualquiera de las siguientes funciones:

- Vibración Radial.
- Posición Del Empuje.
- Excentricidad
- Extensión Diferenciada.
- Aceleración.
- Velocidad.
- Región circular aceptable.

Los canales del monitor se programan en pares y pueden realizar hasta dos de estas funciones a la vez. Los canales 1 y 2 pueden realizar una función, mientras que los canales 3 y 4 realizan otra, o la misma función.

El propósito principal del monitor 3500/42M es proporcionar:

- Protección de la maquinaria comparando continuamente parámetros establecidos contra setpoints configurados de alarma para así anunciar una alarma y evitar el daño de la maquinaria.
- Información esencial de la máquina para las operaciones y el personal del mantenimiento.

Cada canal, dependiendo de la configuración, condiciona típicamente su señal de entrada en varios parámetros llamados los "valores proporcionales". Los setpoints de alerta se pueden configurar para cada valor proporcional activo y los setpoints del peligro se pueden configurar para cualquiera de los valores proporcionales activos.

3.4.1 Sistema de transductores de proximidad. El sistema de transductores de proximidad 3300 XL 8mm, es un sistema compuesto por:

- Punta de prueba de 8 milímetros (Foto 47).
- Cable de extensión 5m. (Foto 48).
- Sensor de proximidad (Foto 49).

El funcionamiento del sistema se basa en el principio de corriente de FOUCAULT el cual consiste en la generación de un campo electromagnético de alta frecuencia, que es producido por una bobina resonante.

Tabla 15. Especificaciones del modulo de los sensores de proximidad.

ESPECIFICACIONES	
Consumo de potencia	7.7 W, Normalmente.
Señales de entrada	Acepta desde 1 hasta 4 transductores de proximidad, velocidad, aceleración.
Impedancia de entrada	10 k Ω En la entrada de los sensores de proximidad
Temperatura de operación	-30 °C a + 65 °C
Temperatura de almacenaje	-40 °C a + 85 °C
Peso	0.20 kg
Sensitividad	3.94 mV/ μ m (100mV/mil) 7.87 mV/ μ m (200 mV/mil)
Impedancia de salida	550 Ω
Alimentación de los transductores	-24 Vdc
Respuesta en frecuencia (25 °C)	Filtro directo: -3 dB en 1.2 Hz. Filtro de intervalo: -3 dB en 0.41 Hz. Precisión: dentro del \pm 0.33% de la escala llena típica, \pm 1% máximo.

Fuente autor de proyecto.

Foto 47. Punta de prueba de 8 mm.



Fuente autor de proyecto.

La bobina forma parte de un circuito oscilador, que en condiciones normales, es decir, cuando no hay en las proximidades objetos metálicos que alteren el campo magnético, genera una señal senoidal. Cuando un metal se aproxima al sensor, éste absorbe parte de la energía del campo magnético invirtiéndola en generar las corrientes superficiales denominadas de FOUCAULT, disminuyendo la amplitud de la señal generada por el oscilador.

La variación de la amplitud de la señal de salida del sensor es convertida en una señal continua, que comparada opcionalmente con un valor referencial, esto permite entregar un valor de salida de voltaje que indica la detección de proximidad por parte del sensor. En la Figura 14 se muestra el principio de funcionamiento del sensor.

Foto 48. Cable de extensión.



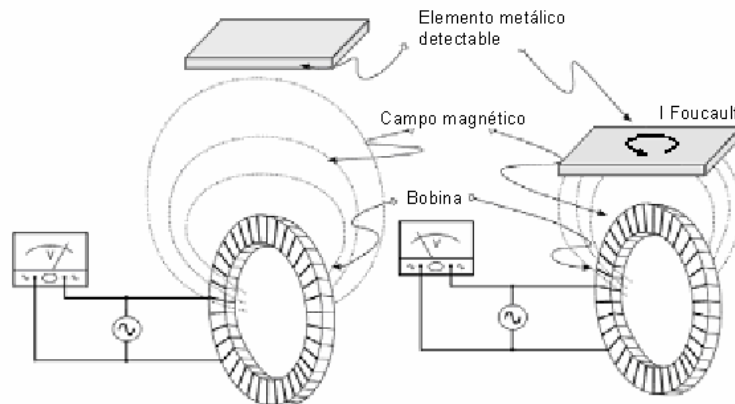
Fuente autor de proyecto.

Foto 49. Sensor de proximidad.



Fuente autor de proyecto.

Figura 14. Sensor de corrientes de Foucault.



www.monografias.com/LeydeFaraday/CorrientesdeFoucault.

El sistema de transductores de proximidad es altamente inmune a interferencia de radiofrecuencia, esto permite no requerir conductores blindados especiales, tampoco de cubiertas metálicas, dando por resultado menores costos de instalación y una reducida complejidad.

La punta de prueba, el cable de extensión, y el sensor de Proximidad tienen conectores de oro-plata resistentes a la corrosión. Estos conectores requieren solamente el esfuerzo de torsión de apretado con los dedos y el mecanismo de fijación especialmente diseñado evita que los conectores se aflojen. No requieren ninguna herramienta especial para la instalación o el retiro. En la Foto 50 se muestra la conexión entre la punta de prueba y el sensor de proximidad.

Foto 50. Conexión entre la punta de prueba y el sensor de proximidad.



Fuente autor de proyecto.

El sistema también incorpora un método patentado de moldeo TipLoc que proporciona un enlace más robusto entre la extremidad de la punta de prueba y el cuerpo de la punta de prueba. El cable de la punta de prueba se une con mayor seguridad, incorporando un diseño patentado de CableLoc que le proporciona una fuerza de resistencia al tirón de 330 N (75 lbf) donde el cable de la punta de prueba se une a la extremidad de la punta de prueba.

Los sensores de proximidad vienen calibrados por defecto (de fábrica), utilizando un objeto de prueba fabricado de acero AISI 4140.

Las especificaciones técnicas del sistema de transductores de proximidad fueron obtenidas bajo los siguientes aspectos:

- Temperatura ambiente en el rango de +18 °C y 27 °C (+64 °F y +80°F).
- Fuente de alimentación de -24 Vdc y una resistencia de carga de 10kΩ.
- Blanco de prueba fabricado en acero AISI 4140 con una distancia de la punta de prueba al blanco de 1.27mm (50mil).

Requiere una fuente de energía de -17,5 VDC a -26 VDC con un consumo máximo de 12 mA. Si se opera en un voltaje más positivo que - 23,5 VDC pueden dar lugar a una gama lineal reducida.

La temperatura de operación en la que se puede utilizar la punta de prueba es -51 °C a +177 °C (-60 °F a +350 °F), para el caso del cable de extensión es de -51 °C a +260 °C (-60 °F a +500 °F), para el sensor de proximidad es -51 °C a +100 °C (-60 °F a +212 °F).

La sensibilidad de la fuente es menor a 2 mV, es decir el voltaje en la salida varía menos de 2mV por el cambio de un 1V en el voltaje de entrada. Su resistencia de salida es de 50 Ω.

En la Tabla 16 se muestra los resultados de la prueba hecha en DC para medir la resistencia de la punta de prueba.

Tabla 16. Resistencia de la punta de prueba.

Longitud del cable de extensión (m)	Resistencia del conductor del centro al conductor externo (Ω)
0.5	7.45 ± 0.50
1.0	7.59 ± 0.50
1.5	7.73 ± 0.50
2.0	7.88 ± 0.50
5.0	8.73 ± 0.70
9.0	9.87 ± 0.90

BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Capacitancia del cable de extensión: 69.9 pF/m (21.3 pF/ft) típica.

Para el cableado de campo se recomienda usar cable blindado de instrumentación con un área transversal que esté en el rango de 0.2mm^2 a 1.5mm^2 (16 a 24 AWG). La longitud máxima entre el sensor y el monitor es de 305 m (1.000 ft).

En la Tabla 17 se muestra los resultados de la prueba hecha en DC para medir la resistencia del cable de extensión.

Tabla 17. Resistencia del cable de extensión.

Longitud del cable de extensión (m)	Resistencia del conductor del centro (Ω)	Resistencia del conductor externo (Ω)
3.0	0.66 ± 0.10	0.20 ± 0.04
3.5	0.77 ± 0.12	0.23 ± 0.05
4.0	0.88 ± 0.13	0.26 ± 0.05
4.5	0.99 ± 0.15	0.30 ± 0.06
7.0	1.54 ± 0.23	0.46 ± 0.09
7.5	1.65 ± 0.25	0.49 ± 0.10
8.0	1.76 ± 0.26	0.53 ± 0.11
8.5	1.87 ± 0.28	0.56 ± 0.11

BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Rango lineal: el rango lineal comienza en aproximadamente 0,25 mm (10 mil) de un blanco a partir de ahí hasta 2,3 mm (90mil). Esto en voltaje es aproximadamente -1 a -17 VDC.

Ajuste recomendado de la abertura: 1.27mm (50 mil).

Desviación de la mejor línea recta apta (DSL): es menor que $\pm 0.025\text{mm}$ (± 1 mil) con los componentes en 0°C al $+45^\circ\text{C}$ ($+32^\circ\text{F}$ a $+113^\circ\text{F}$).

Respuesta de Frecuencia: 0 a 10 Khz: +0, -3dB, con 305 m (1000 ft) de cableado del campo.

Tamaño Mínimo Del Blanco: diámetro de 15,2 mm blanco plano.

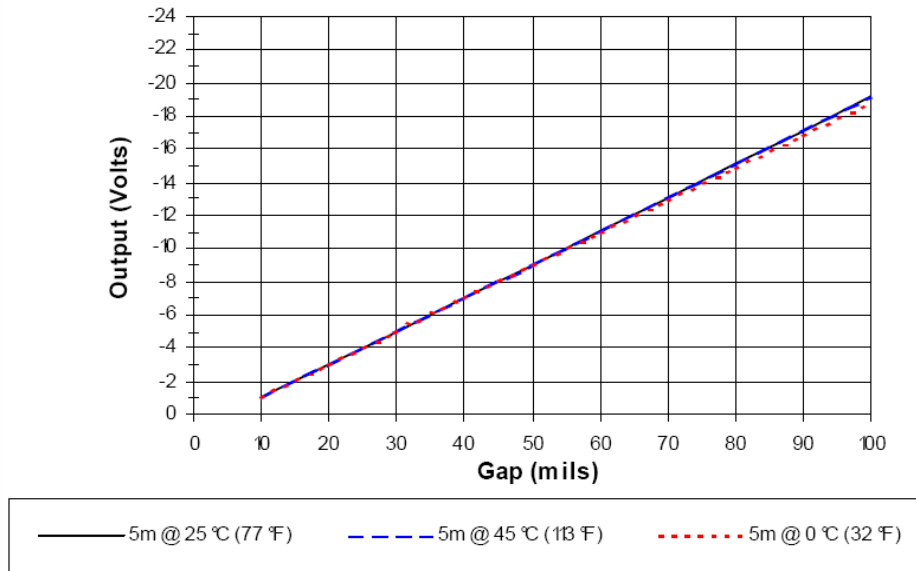
Tabla 18. Efecto de 60 Hz par campos magnéticos arriba de 300 Gauss.

Efecto de 60 Hz par campos magnéticos arriba de 300 Gauss			
El voltaje de salida en función de (mil pp/gauss)			
Abertura (mil)	Sensor de proximidad	Punta de prueba	Cable de extensión
10	0.0119	0.0004	0.0004
50	0.0131	0.0014	0.0014
90	0.0133	0.0045	0.0045

BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

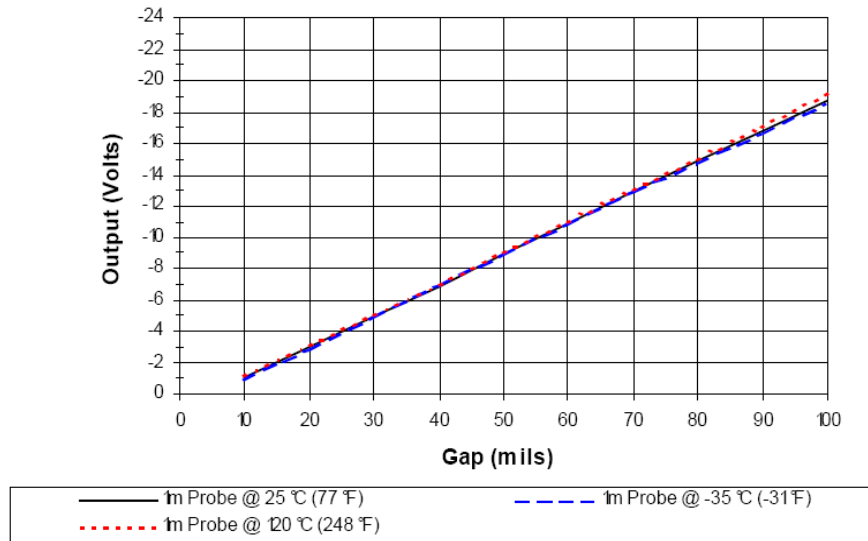
Las pruebas realizadas al sistema de transductores de proximidad variando la temperatura de operación así como la respuesta en frecuencia del sistema se muestran a continuación.

Figura 15. Prueba del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m a diferentes temperaturas.



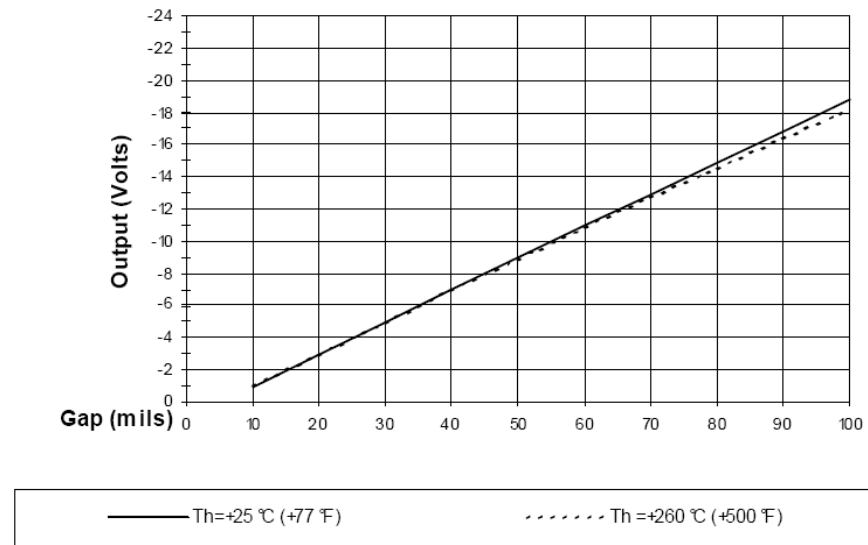
BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Figura 16. Prueba del sistema de transductores de proximidad sin el cable de extensión a diferentes temperaturas.



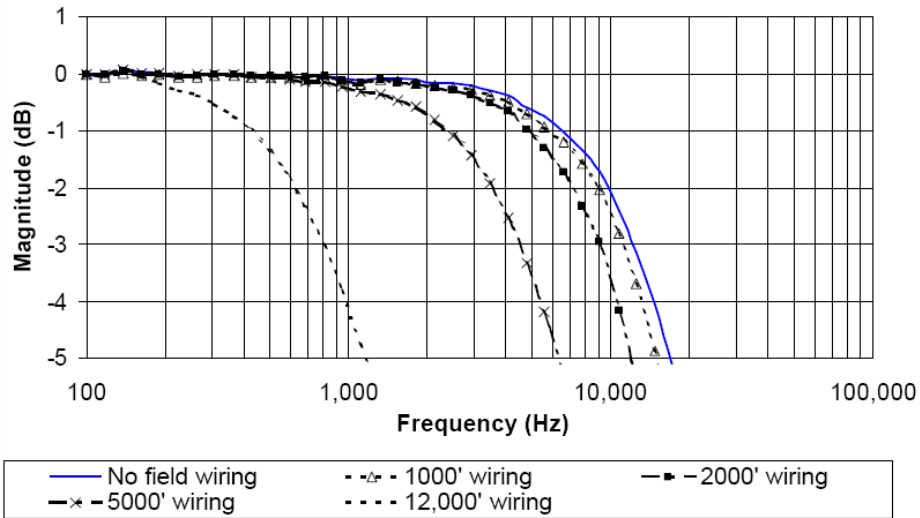
BENTLY NEVADA. Proximitor Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Figura 17. Prueba del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m en el rango máximo de temperaturas de operación.



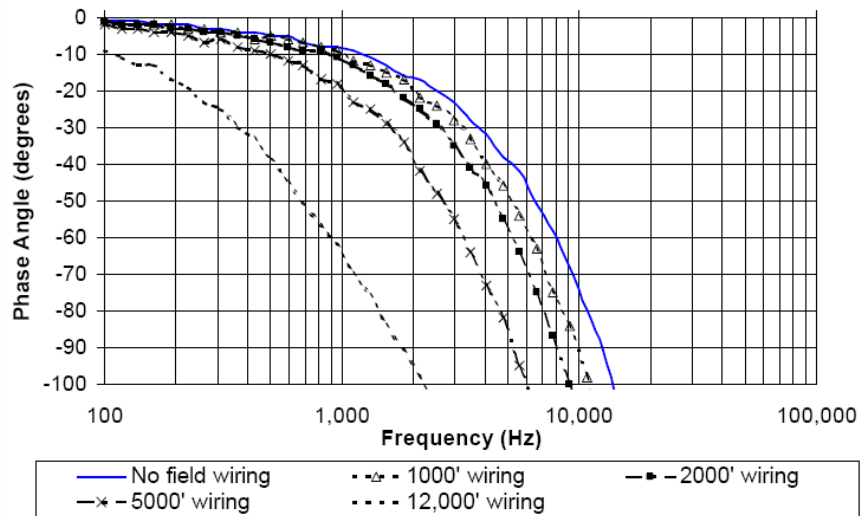
BENTLY NEVADA. Proximitor Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Figura 18. Respuesta en frecuencia del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m con diferentes longitudes de cableado de campo.



BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Figura 19. Respuesta en fase del sistema de transductores de proximidad con el cable de extensión de 5m con diferentes longitudes de cableado de campo.



BENTLY NEVADA. Proximito Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

3.5 MODULO DE MONITOREO DE TEMPERATURA

El monitor de temperatura 3500/60 que se muestra en la Foto 51 es un monitor de seis canales diseñado para el uso de la medida de la temperatura. Acepta la entrada de los detectores de temperatura de tipo resistivo (RTD) o termopares (TC). El monitor se puede programar usando el software de la configuración del RACK 3500 para que active las alarmas según la información recibida de los detectores de temperatura.

Foto 51.Modulo de temperatura.



Fuente autor de proyecto.

(1) LEDES: Indican el estado del funcionamiento del modulo.

Los propósitos primordiales del monitor 3500/60 son proporcionar:

- Un mecanismo de detección para la protección de la maquinaria ya que compara continuamente la temperatura actual de la máquina contra setpoints configurados de alarma y las alarmas de los Relays de disparo.
- La información esencial de la temperatura de la máquina al operador y al personal del mantenimiento. Se configuran los setpoints de alarma usando el software de la configuración del RACK 3500. Los setpoints de alarma y del peligro se pueden configurar para cualquier valor requerido.

Tabla 19. Especificaciones del modulo de temperatura.

ESPECIFICACIONES	
Consumo de potencia	7 W, Normalmente.
Señales de entrada	Acepta desde 1 hasta 6 transductores de temperatura, RDT o TC.
Impedancia de entrada	10 MΩ
Temperatura de operación	-30 °C a + 65 °C
Temperatura de almacenaje	-40 °C a + 85 °C
Peso	0.91 kg
Registrador	Acepta señales de 4 a 20 mA.
Resolución	0.3662 μA por bit, ± 0.15 % de error respecto de la temperatura ambiente.
Condiciones de la señal de entrada.	Las condiciones para cada canal se fija en el campo vía software. No se requiere ninguna calibración.

Fuente autor de proyecto.

3.5.1 RTD

Las RTD utilizadas en el montaje fueron Bently Nevada del tipo PT 100 de 3hilos estas se pueden observar en la Foto 52 .Este sensor de temperatura consiste en un alambre de Platino que a 0 °C tiene 100 Ω y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del Platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Las RTD vienen encapsuladas en una malla de acero inoxidable para proteger los hilos y el alambre de platino, vienen diseñadas para trabajar en un rango de temperatura de -200 °C a 700 °C que son los rangos de temperatura que puede medir el monitor de temperatura 3500/60 con esta clase de RTD.

La PT100 puede fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la PT100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso. Además la PT100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema hasta unos 30 metros utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

Las tablas de la RTD PT100 se muestran en el Anexo C, donde se puede observar el valor de su resistencia a diferentes temperaturas.

Foto 52.RTD del tipo PT100.



Fuente autor de proyecto.

3.6 MODULO DE RELAYS

El módulo de Relays de 4 canales 3500/32 que se muestra en la Foto 53 es un módulo que proporciona cuatro salidas del Relays. Cualquier cantidad de módulos de Relays de 4 canales se puede poner en cualquiera de las ranuras a la derecha del módulo de interfaz del RACK.

Cada salida del modulo de Relays es completamente programable, se utiliza algebra booleana para su programación. La lógica de la impulsión de las alarmas para cada

canal del modulo de Relays se puede programar para que muestre alarma y peligro. Se programa esta lógica de la impulsión de las alarmas usando el software de la configuración del RACK.

Foto 53.Modulo de Relays.



Fuente autor de proyecto.

(1) LEDS: Indican el estado del funcionamiento del modulo.

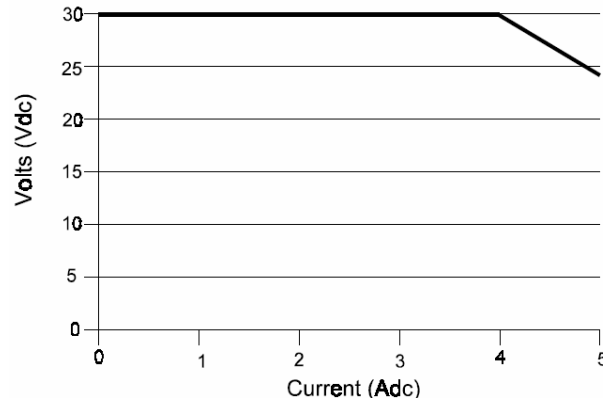
Tabla 20. Especificaciones del modulo de relays.

ESPECIFICACIONES	
Consumo de potencia	6 W, Normalmente.
Humedad	95% no condensada.
Temperatura de operación	-30 °C a + 65 °C
Temperatura de almacenaje	-40 °C a + 85 °C
Peso	0.7kg
Tipo de relay	Dos de polo-sencillo con doble lanzadera (SPDT)
Supresor de arco	250 Vrms, instalado como estándar.
Vida de los contactos	100000 ciclos @ 5 A , 24Vdc , o 120 Vac
Operación	Cada canal se puede seleccionar con un switch como normalmente desenergizado o normalmente energizado.
Máxima energía de switcheo	dc : 120 W ac : 600 VA
Mínima corriente de switcheo	100 mA @ 5 Vdc
Máxima corriente de switcheo	5 A
Máximo voltaje de switcheo	dc: 30 Vdc. ac: 250 Vac.

Fuente autor de proyecto.

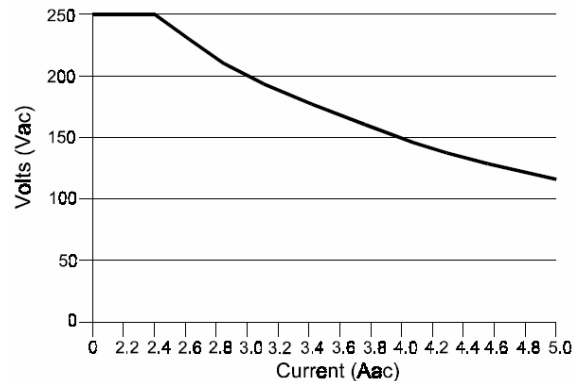
A continuación se muestran en las Figura 20 y Figura 21 la máxima capacidad de switcheo con resistencia de carga en DC y AC.

Figura 20. Máxima capacidad de Switcheo con resistencia de carga en DC.



BENTLY NEVADA. Relay Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2001.

Figura 21. Máxima capacidad de Switcheo con resistencia de carga en AC.



BENTLY NEVADA. Relay Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2001.

3.7 MODULO DE INTERFAZ Y DISPLAY.

El modulo de interfaz y la unidad de Display 3500/93 que muestra en la Foto 54, fueron diseñados para proporcionar la indicación visual local o alejada de la información del sistema de protección de la maquinaria RACK 3500, visualizando la información en forma grafica o en texto de:

- Lista de eventos del sistema.
- Lista de los eventos de alarma.
- Todos los canales de cualquier modulo que muestre gráficamente los datos.

La configuración del modulo 3500/93 se hace con el software de configuración del RACK 3500.

Foto 54. Modulo de interfaz y Display.



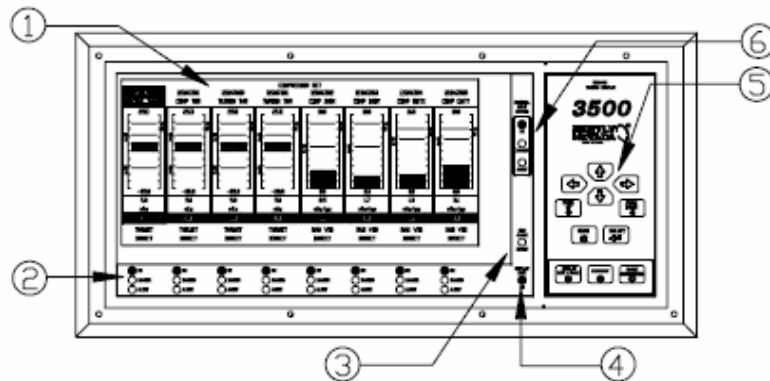
Fuente autor de proyecto.

Tabla 21. Especificaciones modulo de interfaz y del Display.

ESPECIFICACIONES	
Consumo de potencia	15.5 W, Máximo entre la unidad de Display y el modulo de interfaz del Display.
Tipos de datos de entrada	Recoge datos, tales como valores actuales y estado actual de las alarmas, vía una red interna de alta velocidad.
Humedad	95 %, No condensada.
Temperatura de operación	-30 °C a + 65 °C
Temperatura de almacenaje	-40 °C a + 85 °C
Peso del modulo de interfaz del Display	0.82 kg.
Peso de la unidad de Display	2.1 kg.
Comunicación entre la unidad de Display y el módulo de interfaz del Display.	Hardware: interfaz RS422. Protocolo: Soportado por Bentley Nevada el protocolo propietario y el protocolo Modbus. Taza de actualización del canal: 1 segundo típicamente.
Display LCD	Muestra los datos en formato gráfico y de texto. El módulo del LCD es reflexivo, tipo de la matriz de punto de FSTN fuera de contraluz. La luz blanca del ambiente se requiere para la visibilidad aceptable. La mejor visibilidad está bajo condiciones indirectas de la luz del sol, disminuciones de la visibilidad del LCD corresponde con disminución de la luz blanca del ambiente. El LCD exhibe visibilidad aceptable bajo niveles normales de la iluminación de la oficina.

Fuente autor de proyecto.

Figura 22. Unidad de Display (LCD).



BENTLY NEVADA. System Display [CD-ROM].Minden NV: USA, 1999.

- (1) LCD.
- (2) LEDES: Estado del canal.
- (3) LED de evento de una nueva alarma.
- (4) LED del estado de la unidad del DISPLAY.
- (5) Teclado del panel de control.
- (6)LEDES: Del estado del Rack.

3.8 CUBIERTA DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD

La cubierta 3300 XL que se muestra en la Foto 55 permite proteger los sensores de proximidad, los terminales eléctricos de los módulos de interfaz, en las áreas que serían sujetadas de una u otra manera al daño posible de la humedad o de otras condiciones ambientales adversas.

La cubierta de 3300 XL se diseña para acomodar en un carril DIN de 35mm los sensores montados, la cubierta soporta a ocho sensores de proximidad.

Foto 55.Cubierta de los sensores de proximidad.



Fuente autor de proyecto.

La construcción del acero inoxidable 304L resiste la humedad, la corrosión e impactos en virtualmente todas las instalaciones. La cubierta se puede abrir para la limpieza cuando es necesario. Sin embargo, no es una cubierta a prueba de explosiones.

Las placas de la cubierta tienen cuatro opciones del grueso para satisfacer varios requisitos de la instalación de conductos.

Los accesorios para los conductos vienen con una tuerca de fijación y un anillo para apretar y sellar firmemente en los agujeros para los conductos. Los accesorios están disponibles en acero inoxidable, latón, aluminio o Zinc cromo-plateado.

Tabla 22. Especificaciones de la cubierta de los sensores de proximidad.

ESPECIFICACIONES	
Material de la cubierta	Acero inoxidable 304L.
Material de la junta de la tapa	Neopreno
Peso	8kg
Grado de la cubierta	Impermeable resistente a la corrosión grado 4X. Aprobó la prueba mecánica de alto impacto de riesgo requerido por estándar de CENELEC EN50 014.

Fuente autor de proyecto.

4. PROPUESTA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS PARAMETROS DE MEDIDA DE LOS INSTRUMENTOS DE LA SALA DE CONTROL ATRAVÉS DE UN COMPUTADOR DE LA RED INTERNA.

La Electrificadora de Santander tiene actualmente 115 años de funcionamiento en el departamento siendo una de las más antiguas del país, ésta se encuentra en proceso de certificación de la norma ISO 9001. Dentro de sus objetivos de calidad se encuentran la evaluación del desempeño de sus procesos y generar acciones de mejoramiento así como la adecuación de tecnologías que permitan el mejoramiento de los mismos.

La empresa cuenta con unidades de generación térmica e hidráulica instaladas en todo el departamento estas unidades tienen muchos años de funcionamiento por lo cual es necesario adecuarles nuevas tecnologías para alargar su vida útil y mejorar su correcto funcionamiento.

La propuesta que se presenta en este capítulo busca adecuar nuevas tecnologías para la mejora de un proceso ya establecido el cual a presentado falencias las cuales se pueden solucionar aplicando estas nuevas opciones. También se hace una presentación de las posibles soluciones para mejorar este proceso junto con un análisis de las ventajas resultantes de la mejora del mismo.

Actualmente los parámetros eléctricos y mecánicos del funcionamiento de la Unidad No.3 son exhibidos por diversos instrumentos en la sala de control, esta información es recolectada por el operador de la Unidad No. 3 en una planilla que es diligenciada a mano.

Cuando la unidad entra en funcionamiento el operador de la unidad se reporta cada media hora por radio con el operador de la subestación el palenque para suministrarle los datos eléctricos relacionados con la generación. El operador de la subestación el palenque ingresa estos datos en otra planilla diligenciándola a mano que posteriormente es entregada a otro empleado para que los digitalice y elabore los diferentes informes relacionados a la generación de la Unidad No.3.

El operador de la subestación el palenque tiene que suministrar los datos relacionados a la generación de la unidad No.3, junto con los datos de la subestación el palenque al centro de control de la Electrificadora de Santander y lo hace por radio cada hora, el centro de control es el encargado de realizar y supervisar todas las maniobras en las subestaciones del nordeste colombiano.

El centro de control se comunica con el centro nacional de despacho ubicado en la ciudad de Medellín para informar los datos de compra y venta de energía, estos datos son los que suministran todas las subestaciones del nordeste colombiano y de esta manera se recolecta la información para la bolsa de energía, la cual es procesada a diario a la media noche.

4.1 PANORAMA ACTUAL

En la actualidad se han presentado problemas en la digitalización de los datos para los diversos informes ya que se han elaborado informes con cifras erróneas producto esto del recorrido que tiene que hacer la información para llegar al empleado encargado de la elaboración de los informes, otro aspecto que influye para que se procesen datos erróneos es la mala caligrafía de los operarios encargados de llenar las planillas.

Con el fin de evitar errores en la elaboración de informes y tener la información de los parámetros más importantes referente a la generación de la unidad No. 3, para el centro de control se busca visualizar estos parámetros a través de un computador de la red interna de la Electrificadora de Santander y de esta manera tener la información de una manera mas eficiente y exacta ya que la gran mayoría de los instrumentos de medida son análogos y en el momento de tomar la lectura las agujas indicadoras se encuentran en movimiento.

4.2 PROPUESTA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS

La Electrificadora de Santander busca que la adquisición de los datos para su digitalización y posterior visualización a través de un computador de la red interna sea lo mas fácil posible y no tenga que hacer una gran inversión en hardware y software para lograrlo.

Además se busca que el sistema escogido sea capaz de adquirir información de cualquier dispositivo de medida y que se pueda incorporar nuevas aplicaciones a sistemas existentes sin desperdiciar la inversión hecha en hardware.

También se busca que el sistema escogido sea capaz de enviar la información recolectada a cualquier computador de la red interna de la Electrificadora de Santander para su posterior visualización y que sea realizado esto en el menor tiempo posible.

Por lo tanto las propuestas a investigar para la visualización de los parámetros de medida de la unidad No. 3 deben estar enfocadas en los objetivos antes mencionados.

Después de contemplar diferentes opciones de sistemas para la visualización de los parámetros de medida que se ajustaran a las características expuestas por la Electrificadora de Santander, se concluyó que un software de automatización y medida era la alternativa más viable para presentar en este proyecto, para tal fin se entregan dos propuestas de software de automatización y medida. A continuación se describe cada una de ellas.

4.2.1 Propuesta No.1 (System 1TM). Es la plataforma de Bently Nevada diseñada para la optimización de maquinaria de planta y de los procesos que desempeñan, monitoreo de condición, y diagnóstico de eventos, de manera que permite al usuario comprender, diagnosticar, y controlar la condición de los equipos de las plantas y sus procesos en una sola plataforma, en tiempo real.

System 1 está diseñado para recibir datos de una gran cantidad de fuentes, incluyendo equipos en línea y sistemas de colección de datos de tipo portátil; hardware y software de control y automatización, historiadores de procesos, software de administración de mantenimiento y confiabilidad, entradas de datos manuales, y muchas otras.

El System 1 puede monitorear continuamente estas entradas de manera que cuando se detecten situaciones que requieran atención, System 1 puede alertar al personal que corresponda con información accionable, es decir recomendaciones con acciones correctivas; utilizando una gran variedad de mecanismos de notificación, como teléfonos celulares, e-mail, cuadros de diálogo de despliegue automático, o aún más por integración con la interfase de control de planta.

Esa información accionable puede ser enviada a las personas responsables dependiendo del tipo de alerta, permitiéndoles reaccionar de manera tal que se optimicen los impactos, la confiabilidad y seguridad mientras que se reducen los costos de mantenimiento, combustibles y costos operativos de la planta en función de la inversión.

System 1 está diseñado para ser usado por una amplia gama de personas en las plantas, esto incluye, supervisores, operadores, ingenieros de confiabilidad, ingenieros de proceso, técnicos, personal de mantenimiento y muchos más.

Aunque las herramientas de diagnóstico pueden ser usadas para monitoreo por condición de forma manual, y para realizar análisis a profundidad del estudio de condición de la maquinaria de planta; lo que verdaderamente marca la diferencia en la plataforma System 1 es la habilidad de proveer “Información Accionable” bastante sofisticada. System 1 puede analizar automáticamente los datos colectados y transformarlos en Información que contenga recomendaciones para optimización o para diagnóstico. Esto se realiza a través de dos métodos que son complementarios.

El primero es con “Rule-Packs” pre hechos, suministrados por Bently Nevada y diseñados por personal experto, los cuales son integrados a la plataforma para una aplicación específica en turbinas, generadores, cajas de engranajes.

La segunda es utilizando una utilidad bastante flexible e intuitiva de creación de reglas lógicas, permitiéndole a los usuarios incorporar sus propias rutinas en la plataforma System 1, de acuerdo a las necesidades propias de cada máquina monitoreada. De esta manera, no solo se pueden aumentar y personalizar las capacidades de diagnóstico automático, sino que también los usuarios pueden configurar acciones específicas a diferentes condiciones que se presenten como quien será notificado de un evento determinado y de qué manera.

La plataforma System 1, provee una poderosa arquitectura cliente/servidor, utilizando las últimas versiones del sistema operativo y servidores Microsoft Windows. Las bases de datos que crea la plataforma System 1 para guardar los datos colectados son basadas en tecnología SQL de Microsoft; y optimizadas para guardar datos y capturar eventos de una manera muy rápida, de esta manera la creación de reportes, notificación de eventos, y procedimientos de configuración se realizan de una manera muy eficiente.

De manera similar, una muy amplia gama de opciones existen para importar y exportar datos entre el System 1 y sistemas de control y automatización de procesos, monitoreo suplementario de condición, CMMS y sistemas EAM, software de

confiabilidad, ERP y otros sistemas de manejo de planta, software de Ingeniería, hojas de cálculo, procesadores de texto, y muchos otros.

Tabla 23. Componentes adicionales al System 1.

Nombre del modulo	Función
Adquisición de datos	Comunicación y adquisición de datos desde muchas fuentes.
Base de datos (servidor SQL)	Guarda todos los datos históricos de la maquinaria, información activa, sistemas de hardware,y configuraciones iniciales.
Display de configuración	Muestra todos los datos que hay conectados al modulo de adquisición de datos o al modulo de base de datos. Configura el sistema en su hardware y software
Servidor WEB	Proporciona las conexiones de Internet o intranet para el System1.
Archivo básico de configuración	Permite una rápida configuración de un gran numero de puntos para su importación o exportación a Microsoft Excel.
Consola de administración del System 1.	Es un sistema administrativo del System 1, con alto desempeño y funcionalidad.

www.bently.com

Requerimientos mínimos del computador donde se instalara el System 1:

- Procesador Pentium III de 800 MHz.
- 256 MB de memoria RAM.
- 9GB de disco duro.
- Unidad Floppy de 3.5”.
- Unidad de CD-ROM de 24X.
- 8 MB de tarjeta de video.
- Sistema operativo Windows 2000.

4.2.2 Propuesta No. 2(Lab VIEW). Lab VIEW de National Instruments proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos, ofreciendo una gran flexibilidad gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de las herramientas de desarrollo tradicionales.

Lab VIEW es una herramienta de software líder en la industria para pruebas de diseño, medida y sistemas de control. Desde su introducción en 1986, ingenieros y científicos alrededor del mundo que han confiado, durante todo el ciclo de diseño, en el desarrollo gráfico de proyectos de National Instruments y Lab VIEW han logrado mejor calidad, acortar tiempos de mercado y mejorar la eficiencia de la ingeniería y manufactura. Se puede aumentar la productividad en cualquier organización al usar el entorno integrado de Lab VIEW para establecer una interfaz con señales de tiempo real, analizar datos para información significativa y compartir resultados.

Lab VIEW posee la flexibilidad de un lenguaje de programación, combinado con herramientas adicionales diseñadas específicamente para test, medida y control, se pueden crear aplicaciones que van desde la simple monitorización de temperatura hasta la simulación y diseño de sistemas de control. Sin importar de qué proyecto se trate, Lab VIEW tiene las herramientas necesarias para su desarrollo.

Sus principales características son:

- Intuitivo lenguaje de programación gráfico para ingenieros y científicos.
- Herramientas de desarrollo y librerías de alto nivel específicas para aplicaciones.
- Cientos de funciones para E/S, control, análisis y presentación de datos.
- Despliegue en ordenadores personales, móviles, industriales y sistemas de computación empujados.

Con Lab VIEW se puede adquirir y generar rápidamente señales desde tarjetas insertables, dispositivos USB y sistemas basados en Ethernet. Estas capacidades de E/S, combinadas con funciones de análisis de medida especiales, están especialmente diseñadas para obtener las medidas que se requieran desde cualquier sensor físicos tan rápido y fácil como sea posible.

Dentro de las principales medidas que se pueden realizar con Lab VIEW se encuentran:

- | | |
|---------------|---------------------|
| • Temperatura | • Vibración |
| • Voltaje | • Frecuencia |
| • Resistencia | • Periodo |
| • Presión | • Sonido |
| • Tensión | • Luz |
| • Corriente | • Señales Digitales |
| • Pulso | • Más... |
| • Fuerza | |

Lab VIEW simplifica la conexión y comunicación con miles de instrumentos de cientos de proveedores. Con Lab VIEW, se pueden adquirir datos rápidamente desde instrumentos GPIB, serial, Ethernet, PXI, USB y VXI usando controladores de instrumentos, el Asistente interactivo de E/S de Instrumentos, y bibliotecas integradas de E/S de instrumentos.

Lab VIEW se integra con una amplia variedad de soluciones de conmutación de calidad, incluyendo relés de propósito general, multiplexores y matrices para conectar señales de alto voltaje, alta corriente y alta frecuencia.

Lab VIEW es utilizado en diferentes ámbitos, siendo los más destacados:

- **Análisis automatizado y plataformas de medida:**
 - Test de validación/medioambiental
 - Test mecánico/estructural
 - Test de fiabilidad en tiempo real
 - Adquisición de datos
 - Test de campo portátil
 - Test de RF y comunicaciones
 - Test en bancos de prueba
 - Adquisición de imagen
- **Medidas industriales y plataformas de control:**
 - Test y control integrado
 - Automatización de máquinas
 - Visión artificial
 - Monitorización de condiciones de máquina
 - Monitorización distribuida y control
 - Monitorización de potencia

Para que el software Lab VIEW pueda cumplir con las expectativas que se buscan que son la visualización de los parámetros de medida de los instrumentos de la sala de control a través de un computador de la red interna de la Electrificadora de Santander es necesario adquirir una tarjeta de adquisición de datos la cual no viene con el software.

Para evitar conflictos en la comunicación esta tarjeta debe ser preferiblemente de National Instruments casa matriz del software Lab VIEW, para la escogencia de la tarjeta de adquisición de datos necesaria para cumplir con los requerimientos de la Electrificadora se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Numero de entradas análogas y digitales.
- Resolución en bits por cada entrada análoga.
- Cantidad de muestras tomadas a las entradas.
- Numero de salidas análogas.
- Cantidad de muestras tomadas a las salidas.
- Rango de voltaje a la salida.
- Numero de salidas digitales.
- Modo de conexión con el PC.
- Costo.

Teniendo en cuenta estos aspectos se tomo la decisión de escoger la tarjeta de adquisición de datos de referencia NI USB-6210 la cual se muestra en la Foto 56 .Esta tarjeta tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 24. Especificaciones técnicas de la tarjeta NI USB-6210.

NI USB-6210	
Entradas análogas.	16
Resolución de las entradas análogas (bits).	16
Numero máximo de muestras tomadas en las entradas.	250 (kS/s).
Salidas análogas.	--
Numero de muestras tomadas en la salida.	--
Rango de voltaje máximo en la salida.	10 V
Entradas digitales.	4
Salidas digitales.	4
Aislamiento.	--

Fuente autor de proyecto.

Al momento de hacer la cotización de la tarjeta de adquisición de datos no se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos los cuales incrementan el costo de la tarjeta y los cuales son ofrecidos al momento de la cotización:

- Garantía extendida de un año.
- Tutorial para la adquisición exitosa de datos.
- Garantía para la tarjeta de por vida.
- Garantía para la tarjeta de por vida y una calibración básica.

Foto 56. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6210.



Fuente National Instruments.

4.3 ANALISIS ECONOMICO DE LAS PROPUESTAS

Para las propuestas presentadas en este capítulo no fue posible conseguir una cotización formal por parte de las empresas distribuidoras de Software y Hardware.

En el caso del Software System 1 la empresa distribuidora para Colombia es VIBRAN Cia.Ltda. El representante de ventas manifestó que para poder hacer la cotización debía haber planteados unos términos de referencia de un contrato definidos por parte de la Electrificadora para la ejecución de este proyecto.

El representante de ventas manifestó que el costo base de este software es de \$ US 5000; este costo varía según las necesidades manifestadas por el usuario y el número de plantas donde se instalara el software.

Para la opción del Software Lab VIEW la cotización se hace directamente con National Instruments vía Internet, donde se incluye el costo de envío a Colombia de los diferentes productos que se requieran.

Para la Electrificadora de Santander es más práctico adquirir la licencia de un software el cual pueda utilizar en cualquiera de sus plantas en las diferentes localidades y pueda hacer desarrollos con este software para sus diversas necesidades las cuales varían de una planta a otra.

La opción de adquirir la licencia del software Lab VIEW es la más rentable ya que la versión profesional tiene un costo de \$US 2640. Por esta razón se recomienda la adquisición de este Software.

La Electrificadora de Santander no cuenta en este momento con un computador en la sala de control de la Unidad No.3 para poder instalar el software de automatización y medida, por tal motivo se muestra a continuación una cotización realizada vía Internet con la empresa DELL para la adquisición de un computador de última tecnología necesario para la instalación del software de automatización y medida.

El computador cotizado con la empresa DELL es un Dimension 5150 que tiene un precio de \$3.319.016 incluido los gastos de envío e IVA, este computador tiene las siguientes características:

- Procesador Intel Pentium 805 D con tecnología de doble núcleo (2.66 GHz).
- Windows XP Professional Original, en español.
- 1 año de garantía en partes y mano de obra con servicio en sitio o a domicilio.
- Memoria de 512MB Doble Canal DDR2 SDRAM a 533MHz (2x256M).
- Disco duro de 160GB Serial ATA (7,200rpm).
- Monitor de 17 pulgadas E177FP análogo de pantalla plana.
- Tarjeta de video de Gráficos Integrados Intel® Media Accelerator 950.
- Dispositivo óptico de Bahía Única: Combinación de CD-RW 48x / DVD-ROM.
- Tarjeta de sonido de Audio Integrado con capacidad de Dolby Digital 7.1.
- Bocinas Dell A225.
- MODEM de 56K PCI Data Fax.
- Tarjeta de Red 10/100 Intel® PRO Integrado.
- Microsoft Office 2003 Edición Small Business o PyMe, en español (Ed. Básica más Business Contact Manager, Publisher y PowerPoint).
- No trae Floppy.
- Teclado Dell USB en español.
- Mouse Óptico Dell USB de 2 botones.

En la sala de control de la Unidad No. 3, no hay un punto de conexión a la red interna de la Electrificadora de Santander para el computador donde se instalara el software.

A continuación se presenta en la Tabla 25 una tentativa de presupuesto para la ejecución de este proyecto.

Se incluyó el costo del desarrollo de la programación en el presupuesto en el caso que la Electrificadora decida que esto sea realizado por personas ajenas a la empresa y con mayor experiencia en ese campo.

Tabla 25. Presupuesto para la visualización de los parámetros de medida.

PRESUPUESTO	
Software Lab VIEW versión profesional	\$ US 2640
Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6210	\$US 550
Computador Dell Dimension 5150	\$ US1400
Cableado e instalación del punto de red.	\$ US 20
Desarrollo de la programación	\$ US 1200
Accesorios e imprevistos	\$ US 580
TOTAL	\$US 6390

Fuente autor del proyecto.

Nota: Este presupuesto constituye un estimado con base en cotizaciones parciales, el costo de los ítems puede variar al momento de la ejecución del proyecto.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Adelantar la práctica empresarial como modalidad para obtener el título de ingeniero electrónico se constituye indudablemente en una excelente experiencia por que además de afianzar y aplicar conocimientos técnicos a situaciones reales brinda a los estudiantes la oportunidad de conocer un gran número de fenómenos del entorno laboral como el trabajo en grupo la elaboración y seguimiento de procedimientos para la realización de las tareas, la normatividad, el sentido de pertenencia, interactuar con profesionales especializados en diferentes áreas de la ingeniería y el trato con la gente.

Desde el punto de vista de la formación integral del estudiante, la práctica empresarial es indudablemente la mejor de las oportunidades para desempeñarse con autonomía mostrando su calidad profesional.

Se logró familiarizarse con los principales aspectos que intervienen en el funcionamiento de las máquinas térmicas en especial las turbo-máquinas de ciclo abierto alimentadas por gas.

La unidad No3 funciona con el ciclo Brayton el cual es utilizado en turbinas de combustión interna las cuales se emplean principalmente en la propulsión de aviones y la generación de energía eléctrica, este tiene como fin transformar energía que se encuentra en forma de calor a trabajo.

La eficiencia de la Unidad No.3 después de 35 años de operación no ha disminuido en forma considerable gracias al adecuado uso y al excelente mantenimiento que se le ha brindado por parte de la Electrificadora de Santander.

El estricto cumplimiento de las normas de seguridad industrial impartidas por parte de la Electrificadora para sus empleados permitió desarrollar todos los trabajos necesarios para el montaje del sistema de monitoreo sin ningún percance.

El cargo por capacidad es un mecanismo financiero creado para reducir el riesgo de volatilidad y estacionalidad de los precios en la bolsa de energía. Se evitó que este variara gracias a que se logró desarrollar todas las actividades necesarias para el montaje del sistema de monitoreo dentro del tiempo programado para su realización.

El sistema de monitoreo RACK 3500, posee una pantalla de cristal líquido para visualizar en forma gráfica o textual las variables de temperatura y desplazamiento en tiempo real permitiendo al operador de la unidad llevar un mejor control del funcionamiento de la misma, además es fácilmente configurable y cuenta con una gran variedad de opciones para la supervisión de otras variables de proceso.

Con la implementación del sistema de monitoreo se mejoró la protección de la unidad contra posibles daños que puedan ser causados por un desplazamiento excesivo del eje o un aumento en la temperatura del cojinete de empuje fuera de los rangos establecidos.

Con la obtención de las curvas de calibración de los sensores de proximidad se pudo verificar su sensibilidad la cual estuvo dentro de los rangos óptimos de operación garantizados por el fabricante así como su normal funcionamiento.

Se configuraron los niveles de alarma y disparo para el monitor de posición axial, al igual que las temperaturas de Metal del Cojinete de empuje de acuerdo a los valores recomendados por el personal de la Electrificadora que tiene la experiencia suficiente en el funcionamiento y manejo de la Unidad No.3..

Con la propuesta para la visualización de los parámetros de medida de los instrumentos de la sala de control se busca adquirir nueva tecnología para la modernización de procesos y el mejoramiento en la calidad de estos.

Una de las ventajas al hacer la adquisición del software Lab VIEW por parte de la Electrificadora es que cuenta con el personal capacitado para el desarrollo de la programación de este para las diferentes aplicaciones donde sea requerido.

Se recomienda realizar registro diario de los valores indicados en el monitor para permitir llevar un control en forma de gráficos de la tendencia del funcionamiento de la unidad y así prevenir posibles daños.

Se recomienda la pronta instalación del monitoreo de vibración y temperatura de los demás cojinetes de la unidad para que se pueda aprovechar al máximo el RACK 3500 el cual cuenta con la capacidad suficiente de albergar las nuevas tarjetas las cuales no se adquirieron por falta de recursos en la Electrificadora.

ANEXO A

ASPECTOS TEORICOS DE LAS MAQUINAS TÉRMICAS

Se llaman máquinas térmicas a todos aquellos sistemas que funcionando periódicamente sean susceptibles de transformar calor en trabajo; el calor puede proceder, en la mayoría de los casos, de una reacción química (combustión), siendo absorbido por el fluido o agente motor, encargado de poner en movimiento los mecanismos que ejercen las fuerzas sobre el medio exterior.

La combustión se puede realizar fuera de la máquina térmica, estos son motores de combustión externa que se clasifican en:

- De movimiento alternativo, como las máquinas de vapor de émbolo.
- De movimiento rotativo, como las turbinas de vapor.

Cuando la combustión sucede dentro del mismo cilindro de trabajo, estos son motores de combustión interna que se clasifican en:

- De movimiento alternativo, como los motores de explosión.
- De movimiento rotativo, como las turbinas de gas.

El agente motor puede ser el agua que vaporizada en una caldera se expande en un cilindro de trabajo o en una turbina, y en casos excepcionales el mercurio.

Otro agente motor es la mezcla de gases resultantes de la combustión de productos derivados del petróleo, en forma explosiva o progresiva, en el interior de un cilindro de trabajo.

La condición básica para el estudio de estas máquinas reside en el Segundo Principio de la Termodinámica, según el cual, las máquinas térmicas toman calor de un foco a temperatura T_1 (Hogar) y ceden una fracción del mismo a otro foco a menor temperatura T_2 (Refrigerante), transformando el resto en trabajo.

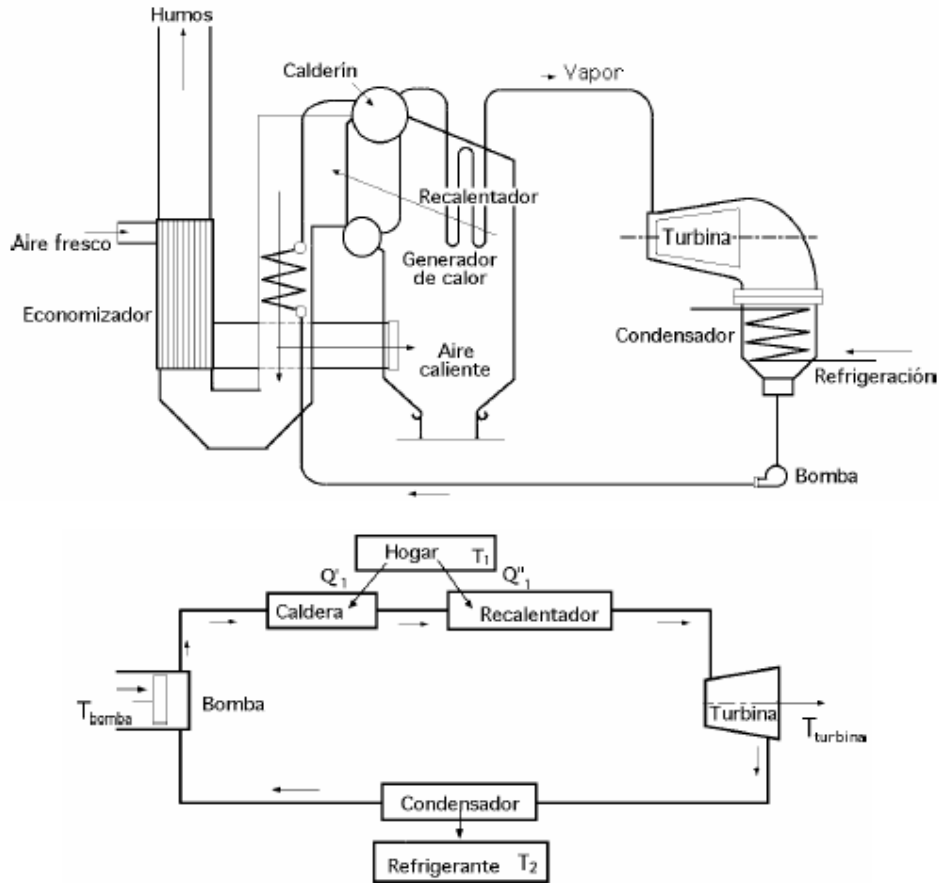
En la Figura A1, se muestra el funcionamiento de una central térmica donde se utiliza este principio donde el agua (o cualquier otro fluido condensable) contenida en la caldera recibe del hogar una cierta cantidad de calor, y se transforma en vapor a una temperatura determinada que depende de la presión existente en la caldera.

Este vapor saturado seco eleva aún más su temperatura, si se le hace pasar por un recalentador conectado directamente a la caldera, a la presión de la caldera, obteniéndose un vapor recalentado de entalpía determinada por la presión y temperatura correspondiente.

El vapor así obtenido se hace pasar a través de los álabes de una turbina, o se le dirige contra el émbolo de un cilindro de expansión, obteniéndose así un trabajo y originándose una caída de la presión y temperatura del vapor, o lo que es lo mismo, una caída de entalpía.

El estado final del vapor puede ser de vapor recalentado, o de vapor húmedo; en este último caso habrá condensado parcialmente, pasando a continuación a un condensador, en donde se licúa el vapor restante, a la temperatura ambiental, cediendo el calor de condensación al refrigerante, que suele ser la propia atmósfera o agua.

Figura A1. Esquema general del funcionamiento de una central térmica.



FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

El líquido condensado habrá cedido en esta operación Q_2 calorías al refrigerante; este líquido condensado, se introduce con ayuda de un sistema de bombeo, bien en un precalentador, o directamente en la caldera, cerrándose así el ciclo.

CICLO TEÓRICO DE UNA TURBINA DE COMBUSTIÓN SIN RECUPERADOR

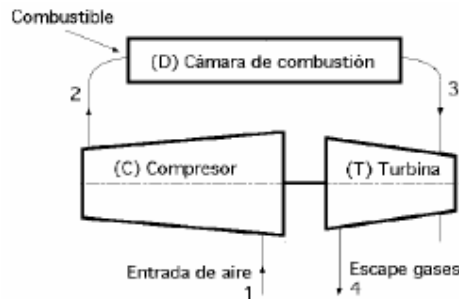
En estas máquinas rotativas, el aire aspirado a la presión atmosférica, se comprime mediante un compresor, elevando su temperatura, y es conducido a la cámara de combustión, donde se inyecta el combustible que arde en forma continuada y suave; los gases calientes de la combustión se expansionan en los álabes de la turbina, desarrollando un trabajo útil y salen a la atmósfera a través del escape; la turbina, una vez en marcha, acciona el compresor; el ciclo desarrollado se conoce como ciclo Brayton; tanto la compresión como la expansión se realizan en una sola etapa.

Los gases que se expansionan en la turbina, todavía calientes en el escape, se pueden aprovechar para producir vapor de agua en una caldera, y utilizarlo posteriormente en una turbina de vapor. Si los gases de escape se hacen llegar a una tobera de descarga, la turbina de gas se convierte en una máquina de chorro.

En la Figura A2, se muestra un esquema de una turbina de gas de combustión y cámara de combustión.

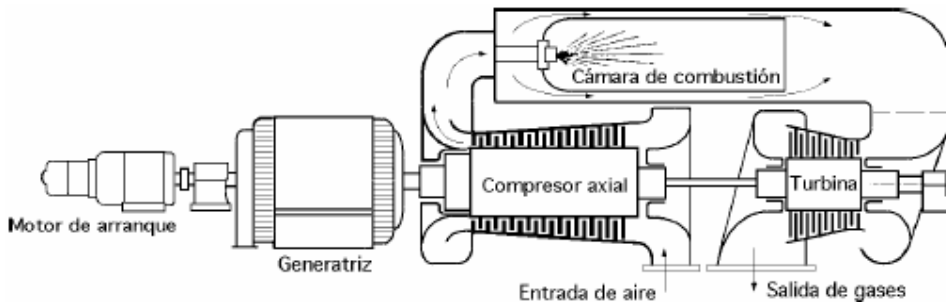
En la Figura A3, se muestra el esquema de una turbina de gas industrial de combustión (Ciclo Brayton).

Figura A2. Esquema de una turbina de gas de combustión y cámara de combustión.



FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

Figura A3. Esquema de una turbina de gas industrial de combustión (Ciclo Brayton).



FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

A veces los gases expansionados en la turbina todavía caliente se pueden aprovechar para producir vapor de agua en una caldera y utilizarlo posteriormente en una turbina de vapor o para precalentar en un regenerador el aire de la combustión.

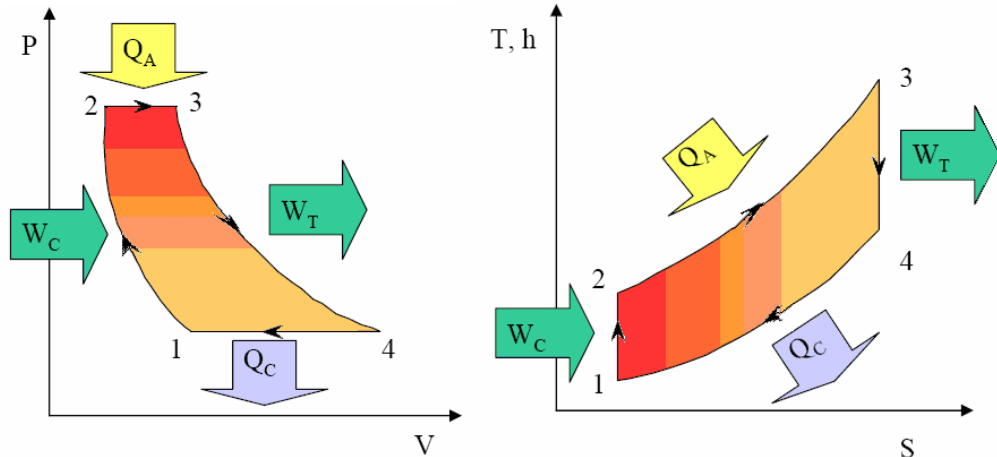
Si los gases de escape se hacen llegar a una tobera de descarga, la turbina de gas se convierte en una máquina de chorro; la turbina una vez en marcha acciona el compresor.

El rendimiento térmico de una turbina de gas de este tipo viene determinado por la relación entre el trabajo útil generado y el calor de combustión del combustible consumido.

Para su cálculo consideraremos un ciclo recorrido por un gas perfecto, el cual se muestra en la Figura A4, en el que la cámara de combustión vendría sustituida por un

cambiador de calor ficticio, en el que el gas recibe a presión constante una cantidad de calor igual al calor de combustión Q_A . De igual modo, los gases expulsados pasarían a otro cambiador de calor donde cederían a presión constante el calor Q_C para volver a las condiciones iniciales. La variable Q representa la transferencia de calor la cual tiene unidades de kJ.

Figura A4. Ciclo teórico de una turbina de combustión interna (Brayton).



FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

Las etapas realizadas en este ciclo son las siguientes:

- 1-2 Compresión adiabática reversible (isoentrópica). Se realiza en el compresor.
- 2-3 Combustión a presión constante. Se realiza en la cámara de combustión.
- 3-4 Expansión adiabática reversible (isoentrópica). Se realiza en la turbina.
- 4-1 Cesión de calor isobárica. Se realiza en la atmósfera.

RENDIMIENTO DEL CICLO BRAYTON

Aplicando el primer principio de la termodinámica para ciclos, y la definición de rendimiento para ciclos reversibles:

$$W_{neto} = W_{turbina} - W_{compresor} = Q_{absorbido} - Q_{cedido} \quad (A.1)$$

$$\eta_t = \frac{W_{neto}}{Q_{absorbido}} = \frac{W_{turbina} - W_{compresor}}{Q_{absorbido}} = \frac{Q_{absorbido} - Q_{cedido}}{Q_{absorbido}} \quad (A.2)$$

El cálculo de calores y trabajos que intervienen en cada etapa del ciclo, se realizará aplicando el primer principio de la termodinámica para sistemas abiertos estables:

$$\Delta h + \frac{\Delta u^2}{2} + g \cdot \Delta z = q - W_e \quad (\text{A.3})$$

h : Entalpía específica, kJ/kg.

u : Energía interna específica, kJ/kg.

g : Función específica de Gibbs, kJ/kg.

z : Factor de compresibilidad.

q : Transferencia de calor por unidad de masa, kJ/kg.

W_e : Trabajo entregado por unidad de masa, kJ/kg.

De esta forma, puesto que en todos los casos podemos despreciar las variaciones de energía cinética y potencial frente a la variación entálpica:

- Calor específico absorbido en la cámara de combustión:

$$q_a = q_{23} = h_3 - h_2 = c_p \cdot (T_3 - T_2) \quad (\text{A.4})$$

c_p : Calor específico a presión constante, kJ/(kg.K).

Suponiendo que se trabaja con gas perfecto y el coeficiente adiabático es constante, $\gamma = \text{CTE}$.

- Calor específico cedido (en el caso del ciclo abierto se cede a la atmósfera):

$$q_c = q_{41} = h_4 - h_1 = c_p \cdot (T_4 - T_1) \quad (\text{A.5})$$

Suponiendo que se trabaja con gas perfecto y el coeficiente adiabático es constante, $\gamma = \text{CTE}$.

- Trabajo específico de expansión en la turbina :

$$W_t = W_{34} = h_3 - h_4 = c_p \cdot (T_3 - T_4) \quad (\text{A.6})$$

Suponiendo que se trabaja con gas perfecto y el coeficiente adiabático es constante, $\gamma = \text{CTE}$.

- Trabajo específico de compresión:

$$W_c = W_{12} = h_2 - h_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{A.7})$$

Suponiendo que se trabaja con gas perfecto y el coeficiente adiabático es constante, $\gamma = \text{CTE}$.

De esta forma la expresión final del rendimiento será:

$$\eta_{termica} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \quad (\text{A.8})$$

Puesto que se está trabajando con aire como gas perfecto y los procesos tanto de compresión como de expansión adiabáticos se tiene que:

$$\begin{aligned} p.v &= R.T \\ p.v^\gamma &= cte. \end{aligned} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_4}{T_3} \quad (\text{A.9})$$

R: Constante de gas, kJ/ (kg.K).

A la relación $\frac{p_2}{p_1}$ se le llama relación de compresión (ρ), luego $\rho = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$

Con las relaciones deducidas anteriormente se puede expresar el rendimiento como:

$$\eta_{termica} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\rho^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (\text{A.10})$$

De lo que se deduce que:

- El rendimiento de un ciclo ideal aumenta constantemente al aumentar la relación de compresión (ρ), o lo que es lo mismo, para una determinada T_1 del medio ambiente, el rendimiento del ciclo aumenta al aumentar la temperatura de salida del aire del compresor T_2 .
- El rendimiento del ciclo ideal solo depende de la relación de compresión, y en particular no depende de la temperatura de entrada del gas a la turbina, T_3 .

TRABAJO ÚTIL DEL CICLO BRAYTON

Par el calculo del trabajo útil partimos de la ecuación (A.1), este trabajo es el entregado por la turbina para las diferentes aplicaciones, es decir la potencia generada por la turbina.

$$W_{turbina} = c_p.T_3 \left\{ 1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \quad (\text{A.11})$$

$$\Delta = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_2}{T_1} ; \quad \Phi = \frac{T_3}{T_1} = \frac{T_{max}}{T_{min}} \quad (\text{A.12})$$

$$W_{turbina} = c_p.T_1.\Phi \left(1 - \frac{1}{\Delta} \right) \quad (\text{A.13})$$

$$W_{compresor} = c_p.T_2 \left\{ 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} = c_p.T_1(\Delta - 1) \quad (\text{A.14})$$

$$W_{util} = W_{turbina} - W_{compresor} = c_p.T_1 \cdot \frac{(\Delta - 1)(\Phi - \Delta)}{\Delta} \quad (\text{A.15})$$

Por lo que contra mayor sea $(T_3 - T_2)$ tanto mayor será el trabajo útil, lo que reduce el costo del kW instalado.

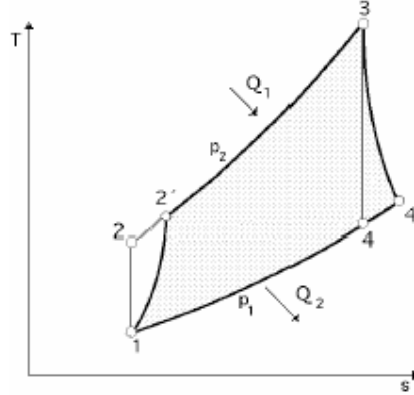
El funcionamiento de una turbina de gas exige:

- Que la relación $\frac{p_2}{p_1}$ sea elevada, lo cual implica que $\frac{T_2}{T_1}$ también lo sea.
- Una gran diferencia de temperaturas $(T_3 - T_2)$ lo cual supone que T_3 sea muy elevada, y en consecuencia nos encontramos con el problema de que los álabes de la turbina puedan resistir altas temperaturas.
- Cuando el funcionamiento sea prolongado, no se debe pasar de 800°C .
- El rendimiento es aún inferior al de un motor de combustión interna en el que, aunque por poco tiempo, las temperaturas pueden alcanzar 2.000°C .
- Su construcción es sencilla, ya que trabajan en un campo de bajas presiones, 5 a 15 atm, por lo que su costo y tamaño se reducen.
- Su puesta en servicio es muy rápida, pasando del estado frío al de carga en tiempos relativamente cortos; para el arranque es necesario llevar al grupo a velocidades del orden de un 30% de la de régimen, de forma que se alimente la cámara de combustión con aire a una presión suficiente para poder encender. El tiempo para que el eje adquiera la velocidad necesaria es de unos 3 minutos, mientras que el tiempo total para la puesta en velocidad y la toma de carga es de 10 a 20 minutos según la potencia del grupo.
- Es de fácil manejo y de reducidos gastos de mantenimiento.
- Su principal desventaja radica en la necesidad de utilizar un combustible relativamente caro, aunque este dato puede ser secundario para el caso de una duración reducida de funcionamiento.

CICLO REAL DE UNA TURBINA DE GAS DE UNA SOLA ETAPA SIN REGENERADOR

La representación de un ciclo de este tipo en el diagrama entrópico, viene dada en la Figura A5. Se observa que el área del ciclo real (12',34') es igual al área del ciclo teórico (1234), menos el área (12,2'1) que representa el aumento del trabajo de compresión debido al calentamiento del fluido por las pérdidas durante la compresión, más el área (34,4'3) que corresponde a la parte recuperada de las pérdidas en la expansión.

Figura A5. Ciclo real de una turbina de gas de una sola etapa sin regenerador.



FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

Se observa también que el trabajo útil es proporcional al área del ciclo real (12'34'1), menos las áreas que representan las pérdidas durante la compresión y la expansión.

Teniendo en cuenta que:

$$T_{4'} = T_3 - (T_3 - T_4) \cdot \eta_{turbina} = T_3 - \left(T_3 - \frac{T_3}{\Delta} \right) \eta_{turbina} = \Phi \cdot T_1 \left(1 - \eta_{turbina} \frac{\Delta - 1}{\Delta} \right) \quad (\text{A.16})$$

$$T_{2'} = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{\eta_{compresor}} = T_1 \left(1 + \frac{\Delta - 1}{\eta_{compresor}} \right) \quad (\text{A.17})$$

El trabajo útil de la turbina de gas de una etapa sin regeneración es:

$$W_{compresor} = c_p (T_{2'} - T_1) = \frac{\Delta - 1}{\eta_{compresor}} \cdot c_p \cdot T_1 \quad (\text{A.18})$$

$$W_{turbina} = c_p (T_3 - T_{4'}) = \frac{\Delta - 1}{\Delta} c_p \Phi T_1 \eta_{turbina} \quad (\text{A.19})$$

$$W_{util} = W_{turbina} - W_{compresor} = \frac{\Delta - 1}{\Delta} \cdot c_p T_1 \left(\Phi \eta_{turbina} - \frac{\Delta}{\eta_{compresor}} \right) \quad (\text{A.20})$$

La relación de compresión de trabajo útil máximo se obtiene en la forma:

$$\frac{\partial W_{util}}{\partial \Delta} = 0 \Rightarrow \Delta_{W \text{ maximo}} = \sqrt{\Phi \eta_{turbina} \eta_{compresor}} \quad (\text{A.21})$$

El calor aplicado es:

$$Q_1 = c_p (T_3 - T_{2'}) = c_p \left\{ \Phi T_1 - T_1 \left(1 + \frac{\Delta - 1}{\eta_{compresor}} \right) \right\} = c_p T_1 \left\{ \Phi - \left(1 + \frac{\Delta - 1}{\eta_{compresor}} \right) \right\} \quad (\text{A.22})$$

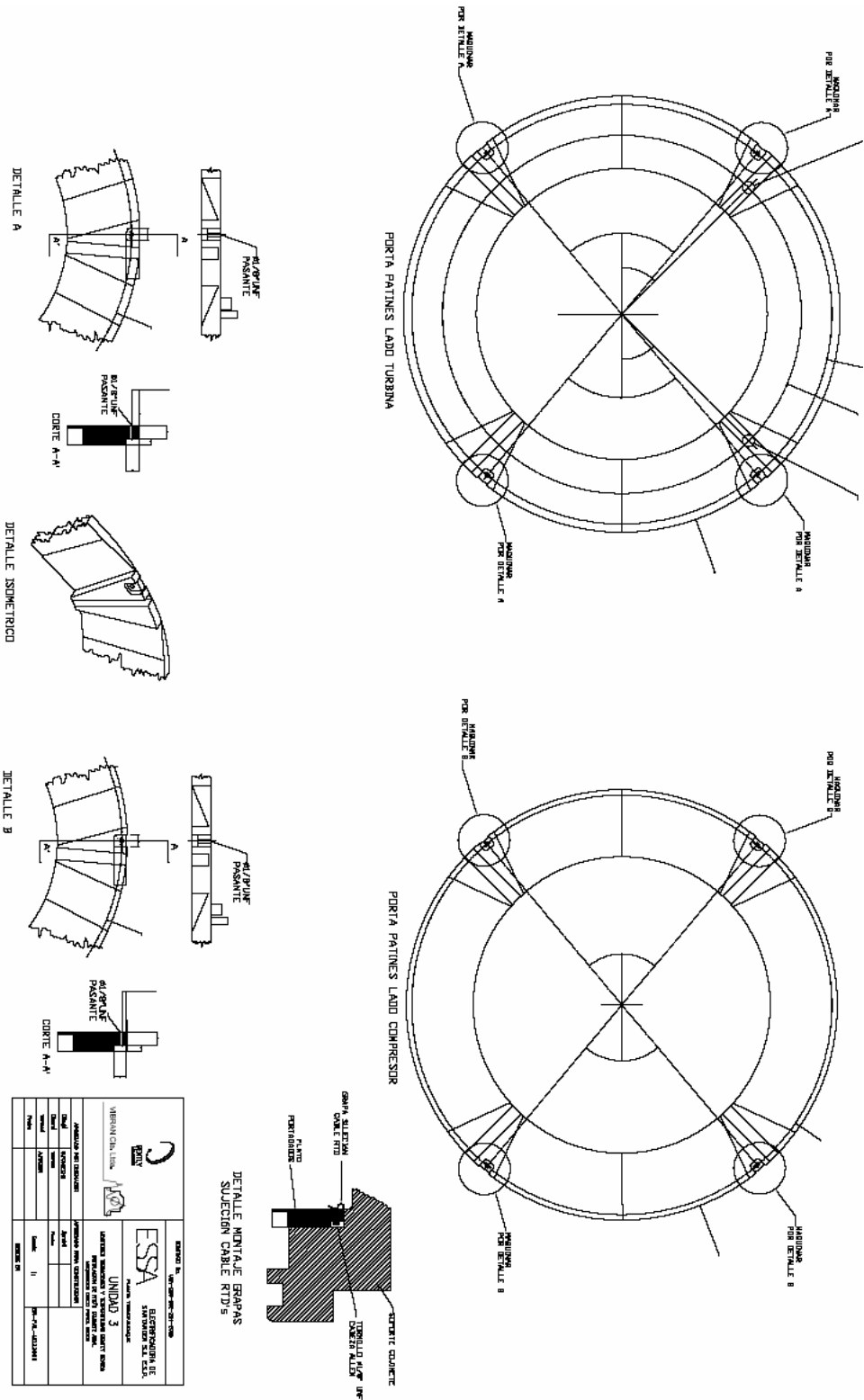
El rendimiento térmico del ciclo real es:

$$\eta_{\text{ciclo}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_{4'} - T_1}{T_3 - T_{2'}} = \frac{\Delta - 1}{\Delta} \frac{\Phi \eta_{\text{turbina}} \eta_{\text{compresor}} - \Delta}{(\Phi - 1) \eta_{\text{compresor}} - (\Delta - 1)} \quad (\text{A.23})$$

Observándose que ($\eta_{\text{ciclo}} = 0$) para:

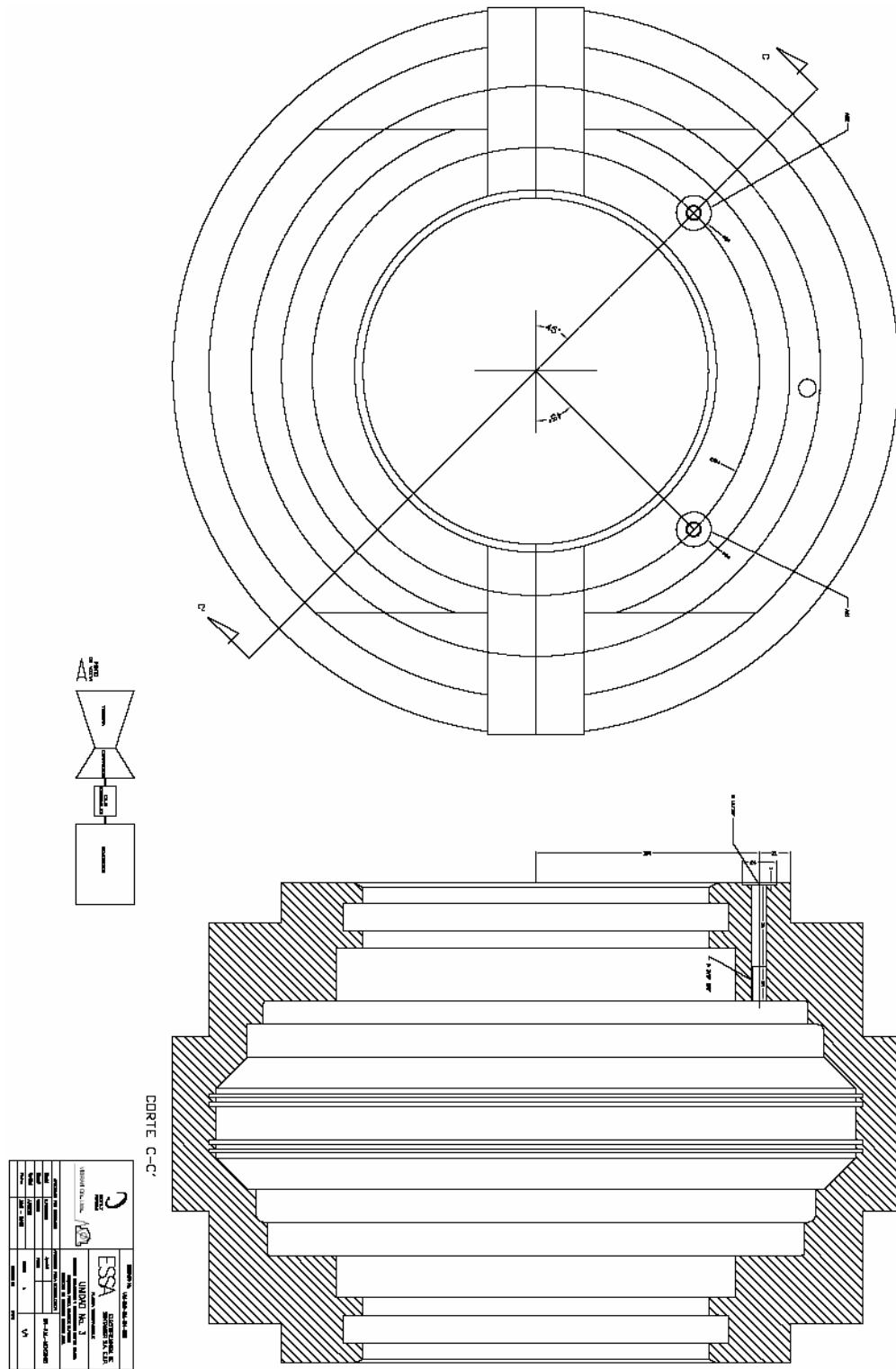
$$\begin{cases} \Delta = 1 \\ \Delta = \Phi \eta_{\text{turbina}} \eta_{\text{compresor}} \end{cases} \quad (\text{A.24})$$

Figura B2. Plano del maquinado de los portadados.



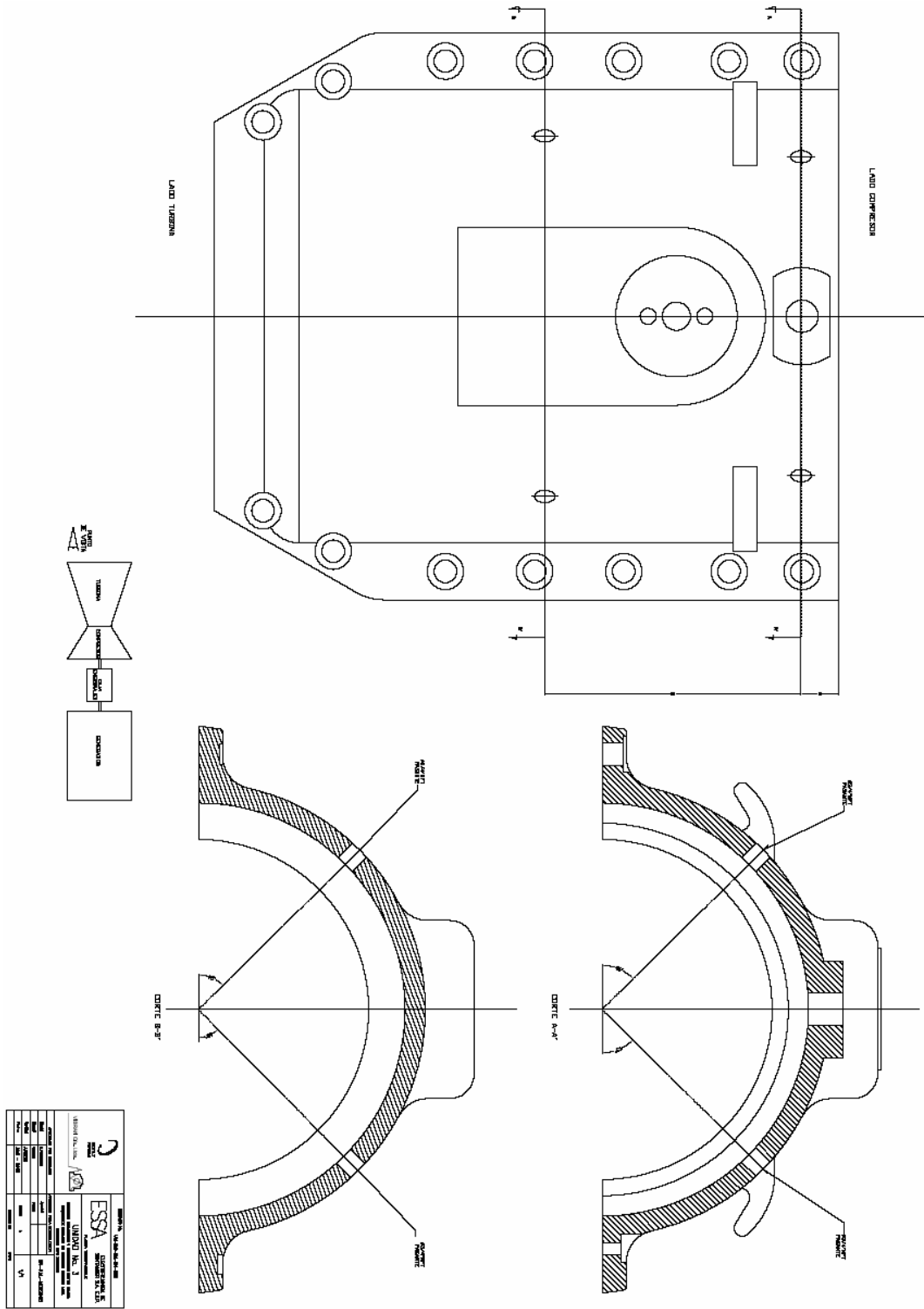
VIBRAN CIA. Ltda.

Figura B4. Plano de maquinado del casquete superior del cojinete de empuje.



VIBRAN CIA. Ltda.

Figura B5.Plano del maquinado de la tapa superior del cojinete de empuje.



VIBRAN CIA. Ltda.

ANEXO C

Tabla C1. Valor de la resistencia de la RTD (Pt 100) a diferentes temperaturas.

Pt 100 ohms										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

www.bently.com/RTD/Pt100.

Tabla C2. Valor de la resistencia de la RTD (Pt 100) a diferentes temperaturas.

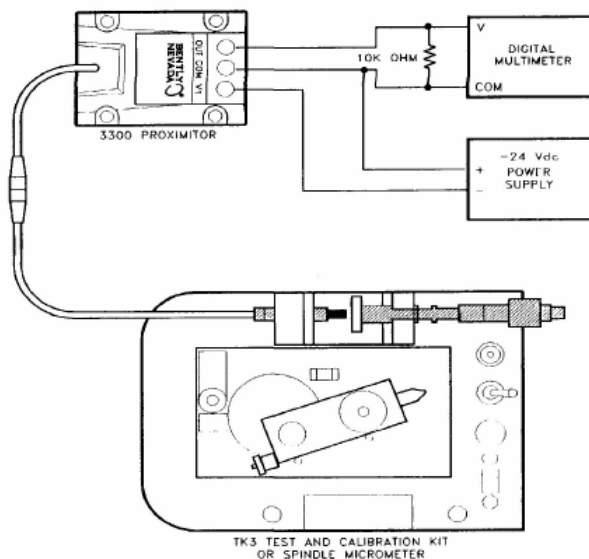
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.88	215.23
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.96	222.31
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83
340	226.18	226.53	226.88	227.24	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84
360	233.19	233.54	233.89	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80
450	264.14	264.48	264.82	265.16	265.49	265.83	266.17	266.51	266.85	267.18
460	267.52	267.86	268.20	268.53	268.87	269.21	269.54	269.88	270.22	270.55
470	270.89	271.23	271.56	271.90	272.24	272.57	272.91	273.24	273.58	273.91
480	274.25	274.58	274.92	275.25	275.59	275.92	276.26	276.59	276.93	277.26
490	277.60	277.93	278.26	278.60	278.93	279.26	279.60	279.93	280.26	280.60
500	280.93	281.26	281.60	281.93	282.26	282.59	282.93	283.26	283.59	283.92
510	284.25	284.58	284.92	285.25	285.58	285.91	286.24	286.57	286.90	287.23
520	287.56	287.90	288.23	288.56	288.89	289.22	289.55	289.88	290.21	290.54
530	290.86	291.19	291.52	291.85	292.18	292.51	292.84	293.17	293.50	293.82
540	294.15	294.48	294.81	295.14	295.47	295.79	296.12	296.45	296.78	297.10
550	297.43	297.76	298.08	298.41	298.74	299.07	299.39	299.72	300.04	300.37
560	300.70	301.02	301.35	301.68	302.00	302.33	302.65	302.98	303.30	303.63
570	303.95	304.28	304.60	304.93	305.25	305.58	305.90	306.22	306.55	306.87
580	307.20	307.52	307.84	308.17	308.49	308.81	309.14	309.46	309.78	310.11
590	310.43	310.75	311.07	311.40	311.72	312.04	312.36	312.68	313.01	313.33
600	313.65	313.97	314.29	314.61	314.93	315.26	315.58	315.90	316.22	316.54
610	316.86	317.18	317.50	317.82	318.14	318.46	318.78	319.10	319.42	319.73
620	320.05	320.37	320.69	321.01	321.33	321.65	321.96	322.28	322.60	322.92
630	323.24	323.55	323.87	324.19	324.51	324.82	325.14	325.46	325.78	326.09
640	326.41	326.73	327.04	327.36	327.67	327.99	328.31	328.62	328.94	329.25
650	329.57	329.89	330.20	330.52	330.83	331.15	331.46	331.78	332.09	332.41
660	332.72	333.04	333.35	333.66	333.98	334.29	334.61	334.92	335.23	335.55
670	335.86	336.17	336.49	336.80	337.11	337.43	337.74	338.05	338.36	338.68
680	338.99	339.30	339.61	339.92	340.24	340.55	340.86	341.17	341.48	341.79
690	342.11	342.42	342.73	343.04	343.35	343.66	343.97	344.28	344.59	344.90
700	345.21	345.52	345.83	346.14	346.45	346.76	347.07	347.38	347.68	347.99
710	348.30	348.61	348.92	349.23	349.53	349.84	350.15	350.46	350.77	351.07
720	351.38	351.69	352.00	352.30	352.61	352.92	353.22	353.53	353.84	354.14
730	354.45	354.75	355.06	355.37	355.67	355.98	356.28	356.59	356.89	357.20
740	357.51	357.81	358.12	358.42	358.72	359.03	359.33	359.64	359.94	360.25
750	360.55	360.85	361.16	361.46	361.77	362.07	362.37	362.68	362.98	363.28
760	363.59	363.89	364.19	364.49	364.80	365.10	365.40	365.70	366.01	366.31
770	366.61	366.91	367.21	367.51	367.81	368.12	368.42	368.72	369.02	369.32
780	369.62	369.92	370.22	370.52	370.82	371.12	371.42	371.72	372.02	372.32
790	372.62	372.92	373.22	373.52	373.82	374.12	374.42	374.71	375.01	375.31
800	375.61	375.91	376.21	376.50	376.80	377.10	377.40	377.70	377.99	378.29
810	378.59	378.88	379.18	379.48	379.77	380.07	380.37	380.66	380.96	381.26
820	381.55	381.85	382.14	382.44	382.74	383.03	383.33	383.62	383.92	384.21
830	384.51	384.80	385.10	385.39	385.69	385.98	386.27	386.57	386.86	387.16
840	387.45	387.74	388.04	388.33	388.62	388.92	389.21	389.50	389.79	390.09
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

www.bently.com/RTD/Pt100.

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE PROXIMIDAD

- Conecte el equipo de pruebas como se muestra en la Figura C1.
- Inserte el sensor en el porta sensor del micrómetro del TK3; ajuste el micrómetro para una indicación de 0 mil, suavemente haga contacto de la punta del sensor con el plato de observación, manteniendo el dial del micrómetro en CERO (0). Aleje el sensor hasta tener una lectura de $-3,00 \text{ VDC} \pm 0.1 \text{ VDC}$.
- Apriete el tornillo de fijación del porta sensor, asegurando que exista contacto entre la punta y el plato, y registre el valor del voltaje DC medido entre la salida (OUT) y el común (COM).
- Incremente el GAP a intervalos de 0,25 mm (10mil) utilizando el micrómetro. Registre el voltaje a cada incremento y regístrelo.
- Para cada incremento en GAP, reste el voltaje del GAP inferior del GAP superior. Divida el resultado por 0,25mm (10mils). Esto debe dar un Factor de Escala de incremento (ISF) de $7,87 \pm 0,79 \text{ V/mm}$ ($200 \pm 20 \text{ mV/mil}$).
- Reste el voltaje a 0,25 mm (10mil) del voltaje a 2,28mm (90 mil), y divida por 2,03 mm (80 mil). Esto debe dar un Factor de Escala Medio del sistema (ASF) de $7,87 \text{ mm} \pm 0,43 \text{ V/mm}$ ($200 \pm 11 \text{ mV/mil}$).
- Si el Factor de Escala de Incremento (ISF) o el Factor de Escala Medio (ASF) del sistema está fuera de la tolerancia, el sensor no se encuentra en buen estado.

Figura C1. Montaje del sensor de proximidad para su calibración.

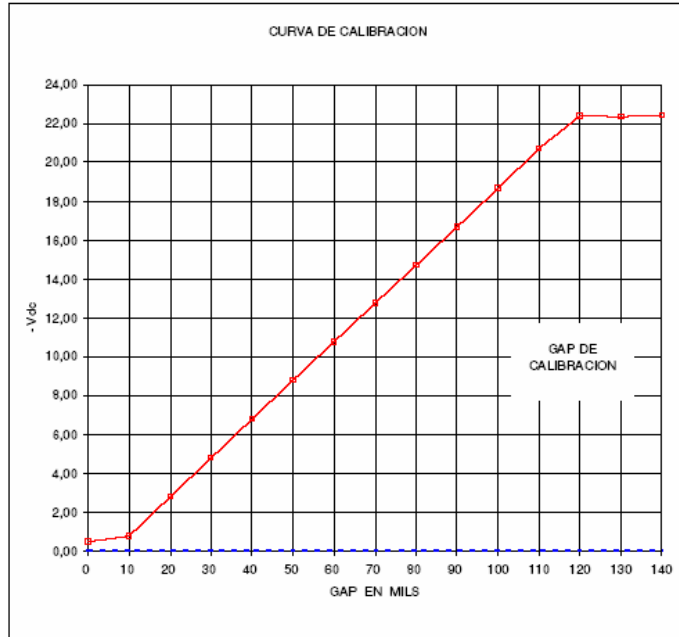


BENTLY NEVADA. Proximitator Monitor Module [CD-ROM].Minden NV: USA, 2002.

Figura C2. Curva de calibración del sensor de proximidad AA-1.

CLIENTE ESSA ESP No. 1-0606-ESSA FECHA: 10-06-06
 LOCALIZACION BUCARAMANGA PLANTA TERMO PALENQUE
 MAQUINA TURBO-GAS UNIDAD 3
 TRANSDUCTOR TIPO SERIE APLICACION DEL TRANSDUCTOR Calibración
 CODIGO IDENTIFICACION CLIENTE AA1
 PROXIMITOR P/N 330180-91-00 SERIE 06C01089 TAG
 SENSOR DE PROXIMIDAD P/N 330101-00-60-05-02-00 SERIE 06D00E8Y
 CABLE EXTENSION P/N 330130 SERIE 06C01M81

Monitor: Slot 2 Canal: 1 FUENTE DE PODER Vdc



GAP MILS	VOLTS -vdc
0	0,45
10	0,75
20	2,77
30	4,77
40	6,78
50	8,80
60	10,77
70	12,75
80	14,71
90	16,67
100	18,65
110	20,71
120	22,38
130	22,38
140	22,40

SENSIBILIDAD : 199,0 **mv / mil**
 TOLERANCIAS OUTPUT DEL SENSOR
 200 mv / mil valor nominal MAX MIN
 Solo el componente +/-4% 208 192
 Con intercambio +/- 6% 212 188

GAP- VOLTAJE DE AJUSTE DE CALIBRACION

 -Vdc

GAP DE CALIBRACION - MECANICO

50 MILS DE GAP

COMENTARIOS

LA SENSIBILIDAD DEL SISTEMA DE PROXIMIDAD SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANGO OPTIMO DE TRABAJO. ESTE SENSOR FUE INSTALADO PARA LA MEDICION DEL DESPLAZAMIENTO AXIAL.

Fuente VIBRAN CIA .Ltda.

DATOS DE CONFIGURACION FINAL DEL RACK 3500

3500 Rack Configuration Data Software Version: 3.70

Standard: Full Rack Rack Address: 1 Date: 31-Jul-2006 Time: 11:01:18

SLOT 1: /20 RIM-Rack Interface Mod

Upper Power Supply Type: DC high-voltage
Lower Power Supply Type: No Supply
Dynamic Signal Option: Top Data Manager Port (2-7)
Bottom Data Manager Port (8-13)
Rack Mounting Option: Panel Mounted
Agency Approval: None
CE Approval: No
Change Setpoints in Program Mode Only: No
Disable Front Communication Port of TDI/RIM: No
Drive Rack NOT OK Relay If Rack Address is Changed in Run Mode: No
Drive Rack NOT OK Relay If a Module is Removed From or Inserted Into the Rack: No
Drive Rack NOT OK Relay If Key Switch is Changed From Run to Program Mode: No

Front Port (Channel 1):	Rear Port (Channel 2):
Modem Enabled: No Modem	Modem Enabled: No Modem
Baud Rate: None	Baud Rate: None
Byte Timeout: 20	Byte Timeout: 20

SLOT 2: /40M Proximitor Monitor

Monitor I/O Type: Proximitor I/O (Internal Termination)

CHANNEL 1: AA-1

Channel Type: Thrust Position
Channel Activity: Active
Transducer Options:
 Transducer Type: 3300XL-8mm Proximitor
 Scale Factor: 200 mV/mil
 Upper OK Limit: -19, 04 Volts
 Lower OK Limit: -1, 28 Volts
 Barrier: None
 Orientation: Left
 Deg: 0
Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled
Recorder Information:
 Recorder Output: None
 Two mA Clamp Enabled: No
 Hysteresis Enabled: No
Monitor Specific Information:
 Transducer Direction: Toward Probe.

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: -25 to 25 mil
Zero Position Voltage: -10, 05
Clamp Position Voltage: 0
Setpoints:
 Alert / Alarm 1:
 Enabled: Yes
 Over Setpoint: 6, 5 mil
 Under Setpoint: -6, 5 mil
 Danger / Alarm 2:
 Enabled: Yes
 Over Setpoint: 10, 5 mil
 Under Setpoint: -10, 5 mil

Proportional Value: Gap

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to -24 Vdc
Zero Position Voltage: 0, 00
Clamp Position Voltage: 0
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Enabled: No
Over Setpoint: -16, 00 Vdc
Under Setpoint: -3, 60 Vdc
Danger / Alarm 2:
Enabled: No

CHANNEL 2: AA-2

Channel Type: Thrust Position
Channel Activity: Active
Transducer Options:
Transducer Type: 3300XL-8mm Proximitor
Scale Factor: 200 mV/mil
Upper OK Limit: -19, 04 Volts
Lower OK Limit: -1, 28 Volts
Barrier: None
Orientation: Left
Deg: 0

Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled

Recorder Information:
Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No

Monitor Specific Information:
Transducer Direction: Toward Probe

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: -25 to 25 mil
Zero Position Voltage: -10, 00
Clamp Position Voltage: 0
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Enabled: Yes
Over Setpoint: 6, 5 mil
Under Setpoint: -6, 5 mil
Danger / Alarm 2:
Enabled: Yes
Over Setpoint: 10, 5 mil
Under Setpoint: -10, 5 mil

Proportional Value: Gap

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to -24 Vdc
Zero Position Voltage: 0, 00
Clamp Position Voltage: 0
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Enabled: No
Over Setpoint: -16, 00 Vdc
Under Setpoint: -3, 60 Vdc
Danger / Alarm 2:
Enabled: No

SLOT 9: /60 Temperature Mon (NO Rec)

Monitor I/O Type: RTD/TC Temp I/O (Internal Termination)
Line Noise Rejection: 60 Hz

CHANNEL 1: Turbina #1 60 DER

Channel Type: Temperature
Channel Activity: Active
Transducer Options:
Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C
Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Right
Deg: 60
Barrier: None
Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds

Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled

Recorder Information:

Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No

Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

CHANNEL 2: Turbina #2 30 IZQ.

Channel Type: Temperature

Channel Activity: Active

Transducer Options:

Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C
Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Left
Deg: 30
Barrier: None

Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled

Recorder Information:

Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No

Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

CHANNEL 3: Turbina #3 120 IZQ

Channel Type: Temperature

Channel Activity: Active

Transducer Options:

Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C
Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Left
Deg: 120

Barrier: None
Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled

Recorder Information:
Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No

Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C

Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

CHANNEL 4: Turbina #4 150 DER

Channel Type: Temperature

Channel Activity: Active

Transducer Options:

Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C
Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Right
Deg: 150
Barrier: None

Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled

Recorder Information:
Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No

Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C

Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

CHANNEL 5: Compres #3 120 IZQ

Channel Type: Temperature

Channel Activity: Active

Transducer Options:

Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C

Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Left
Deg: 120
Barrier: None
Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled
Recorder Information:
Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No
Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

CHANNEL 6: Compres #4 150 DER

Channel Type: Temperature
Channel Activity: Active
Transducer Options:
Transducer Type: 3 Wire 100 Ohm Platinum (0.00385) RTD
Upper OK Limit: 850, 00 deg C
Lower OK Limit: -200, 00 deg C
Orientation: Right
Deg: 150
Barrier: None
Alert Alarm Mode: Latching
Danger Alarm Mode: Latching
Alert Time Delay: 3 seconds
Danger Time Delay: 2000 ms
Not OK Latching: Nonlatching
Timed OK Channel Defeat: Disabled
Recorder Information:
Recorder Output: None
Two mA Clamp Enabled: No
Hysteresis Enabled: No
Monitor Specific Information:

Channel Proportional Values

Proportional Value: Direct Amplitude

Enabled: Yes
Full Scale Range: 0 to 150 deg C
Zero Position: 32768
Clamp Value: 0 deg C
Setpoints:

Alert / Alarm 1:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 90 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

Danger / Alarm 2:
Over Setpoint Enabled: Yes
Over Setpoint: 120 deg C
Under Setpoint Enabled: No
Under Setpoint: 0 deg C

SLOT 12: /32 Standard Relay Module

Channel 1: Alarma Pos. Ax
Activity: Active
Latching Alarms: Disabled
True And: Disabled
Relay NE/NDE Switch Status: Normally De-Energized
Alarm Logic: S02C##A1

Channel 2: Disparo Pos. Ax.
Activity: Active
Latching Alarms: Disabled
True And: Disabled
Relay NE/NDE Switch Status: Normally De-Energized
Alarm Logic: (S02C01A2 * S02C02A2)

Channel 3: Alarma Temp.
Activity: Active
Latching Alarms: Disabled
True And: Disabled
Relay NE/NDE Switch Status: Normally De-Energized
Alarm Logic: S09C##A1

Channel 4: Disparo Temp.
Activity: Active
Latching Alarms: Disabled
True And: Disabled
Relay NE/NDE Switch Status: Normally De-Energized
Alarm Logic: S09C##A2

SLOT 15: /93 Display Interface Mod

Scan Time Display Interval: 15 Seconds
Channel Information Display Time: 30 Minutes
Default Screen Mode: Bargraph
Language Support: Spanish
Number of User Defined sets: 1

Valores Pos Axial - Bargraph Mode
Bargraph ID: 1
Slot: 2
Chan: 1
Channel Type: Thrust Position
PPL Type: Direct

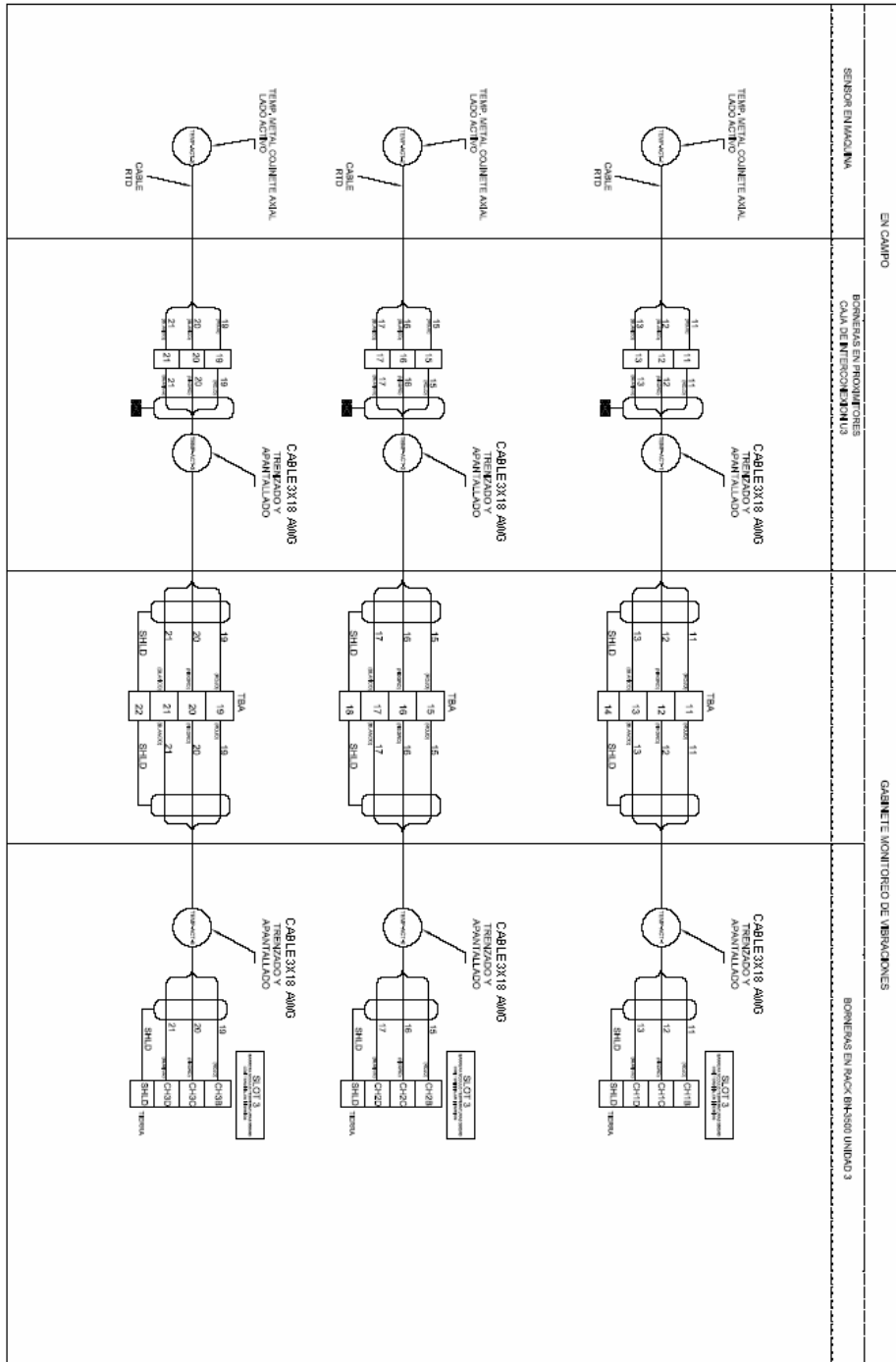
Bargraph ID: 2
Slot: 2
Chan: 2
Channel Type: Thrust Position
PPL Type: Direct

Bargraph ID: 3
Slot: 2
Chan: 1
Channel Type: Thrust Position
PPL Type: Gap

Bargraph ID: 4
Slot: 2
Chan: 2
Channel Type: Thrust Position
PPL Type: Gap

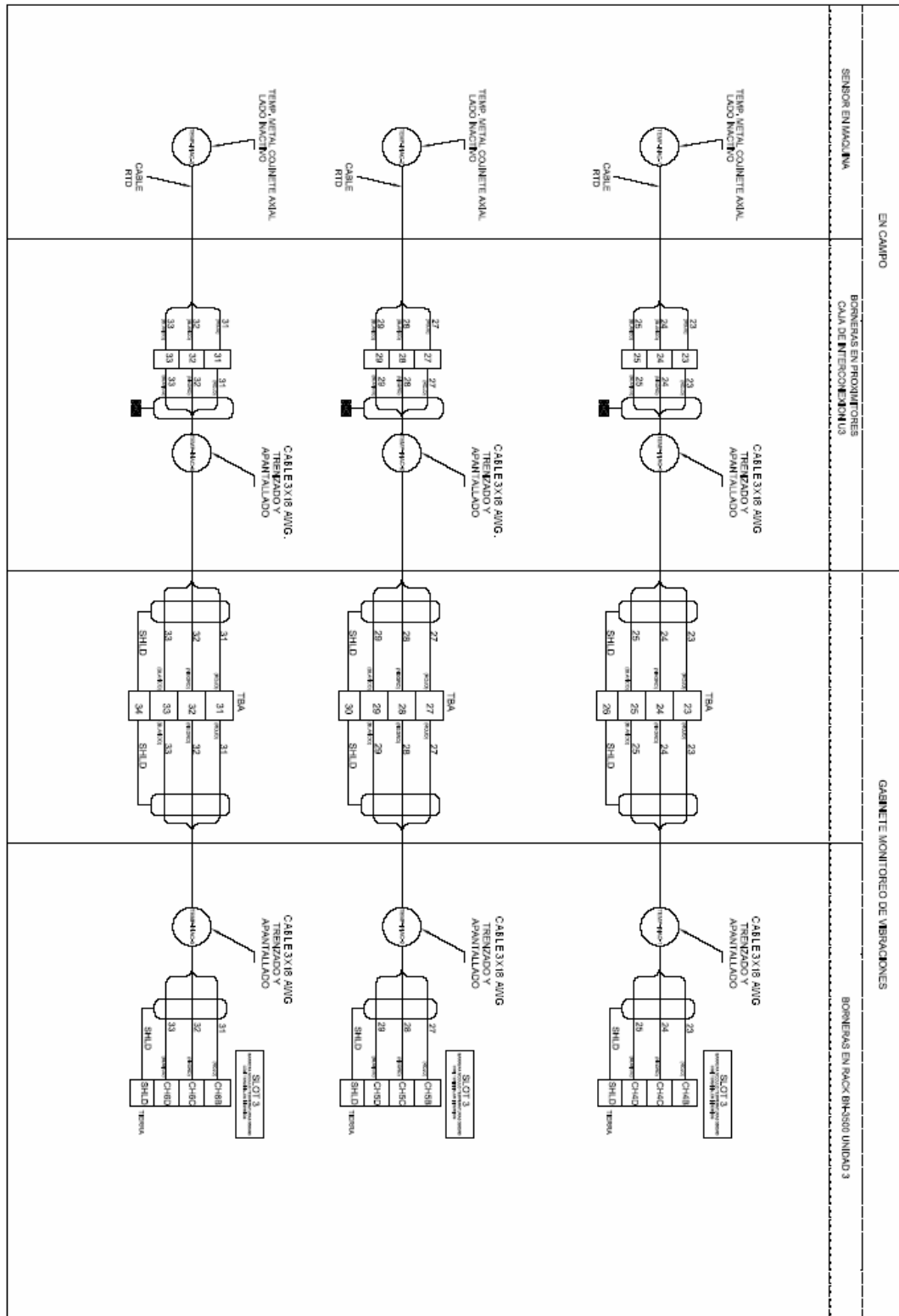
ANEXO D

Figura D1. Diagrama eléctrico de conexión de las RTD's del lado turbina.



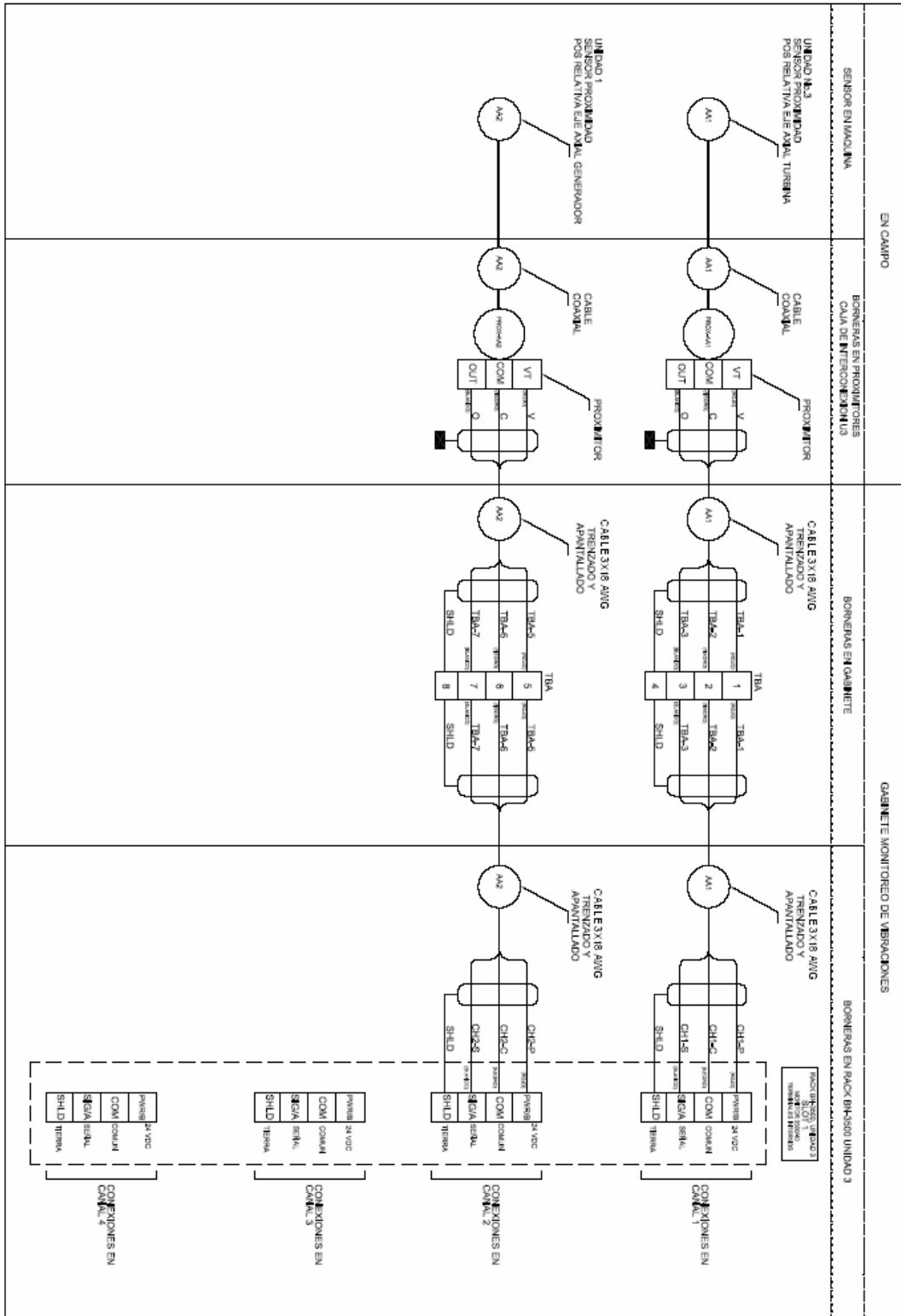
Fuente autor de proyecto.

Figura D2. Diagrama eléctrico de conexión de las RTD's del lado compresor.



Fuente autor de proyecto.

FIGURA D3. Diagrama eléctrico de conexión de los sensores de proximidad.



Fuente autor de proyecto.

BIBLIOGRAFIA

Creus Antonio. Instrumentos Industriales, sexta edición.

FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. Termodinámica Técnica. Universidad de Cantabria, 2006.

IEEE Standard for information technology – telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area network – specific requirement port: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de procedimientos de Generación Térmica, Bucaramanga 2006.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Manual de operación de la Unidad Turbogas No.3, Bucaramanga 2006.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Pruebas de Consumo Térmico Específico, Bucaramanga, 9 de junio 1998.

www.BentlyNevada.com

www.Monografias.com

www.ni.com

www.centelsa.com

