

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

CARRERA DE ELECROMECÁNICA



**MONOGRAFÍA LABORAL (PETAENG)
REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN DE COJINETES,
UNIDAD SANTA ISABEL 4.**

Monografía laboral para la obtención del Título de Técnico Universitario Superior

POR: ELOY COLQUE ARUQUIPA

TUTOR: LIC. SIMÓN LAYME VELASCO

LA PAZ-BOLIVIA

Septiembre, 2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE ELECROMECÁNICA

Monografía laboral (PETAENG)

REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y
LUBRICACIÓN DE COJINETES, UNIDAD SANTA ISABEL 4.

Presentada por: Univ. Eloy Colque Aruquipa

Para optar el grado académico de *Técnico Universitario Superior*

Nota numeral:.....

Nota literal:.....

Ha sido.....

Director de la carrera de Electromecánica: Ing. Marco Antonio Romay Ossio

Tutor: Lic. Simón Layme Velasco

Tribunal: Lic. Richard Villalba Caro

Tribunal: Lic. Oscar Arnaldo Heredia Vargas

Dedicado:

A la memoria de mis padres que confiaron en mí, aunque hoy ya no se encuentran a mi lado siempre estarán en mis pensamientos y corazón.

En especial a mi esposa e hijos y toda mi familia por impulsarme a seguir adelante, ser la fortaleza y razón de mi vida.

Agradecimiento:

A todos los docentes de la carrera de Electromecánica, por transmitirme sus conocimientos que hoy en día son las armas con las que enfrento los retos diarios de mi actividad profesional.

A mis compañeros de estudio que llegaron a ser una segunda familia con quienes compartí momentos gratos, en especial a mi hermano Marco Antonio Condori Zenteno (†) Dios lo tenga en su gloria.

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto implementado en la Central Hidroeléctrica Santa Isabel, perteneciente a la Empresa Eléctrica Ende Corani S.A., corresponde al **“Rediseño y optimización del sistema de refrigeración y lubricación de cojinetes, Unidad Santa Isabel SIS-4”**.

Para conseguir el objetivo antes mencionado se recurre a cálculos teóricos apoyados en el conocimiento de Termodinámica y Transferencia de Calor, para posteriormente aplicar la ingeniería inversa y así lograr conseguir la fabricación de un intercambiador de calor de placas planas, que tras las pruebas y la puesta en funcionamiento, responden a los cálculos teóricos previamente obtenidos.

Mediante su implementación se consigue mejorar la refrigeración del aceite de lubricación de cojinetes en aproximadamente 1°C , y a su vez convertir al sistema de lubricación de aceite de cojinetes más confiable, asequible para un mantenimiento rápido y oportuno, y por sobre todo logra remplazar un equipo que por el tiempo de servicio (cuarenta años) ya presentaba anormalidades y reparaciones recurrentes.

CONTENIDO

AREA I.....	4
1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD LABORAL	4
1.1. Breve descripción de la Empresa	4
1.2. Información Técnica Central Hidroeléctrica Santa Isabel	5
1.3. Características de las relaciones de subordinación y superordenación	11
1.4. Aspectos centrales caracterizadores de la actividad desarrollada	11
1.5. Descripción de Funciones	11
AREA II.....	14
2. DESCRIPCION DE UN CASO DE ESTUDIO REAL, AFRONTADO Y SOLVENTADO Y/O RESUELTO POR EL POSTULANTE.....	14
3. GENERALIDADES	14
3.1. Presentación	14
3.2. Antecedentes	15
3.2.1. Cojinete de contacto deslizante	15
3.2.2. Sistema de lubricación de cojinetes	17
4. OBJETIVO Y ALCANCE.....	19
5. CRITERIOS DE REDISEÑO.....	20
5.1. Criterios Generales.....	20

5.1.1. Diagnostico.....	20
5.1.2. Aspectos generales asumidos para el rediseño.....	21
5.2. Descripción del rediseño	21
5.2.1. Calculo teórico	21
5.2.2. Criterios particulares asumidos en el rediseño.....	26
6. REDISEÑO.....	26
6.1. Intercambiador tipo coraza-tubo 1-2.....	26
6.1.1. Ventajas del intercambiador tipo Coraza-Tubo 1-2	27
6.1.2. Desventajas del intercambiador tipo Coraza-Tubo 1-2.....	27
6.2. Intercambiador tipo Placas Planas.....	28
6.2.1. Ventajas del intercambiador tipo Placas Planas	28
6.2.2. Desventajas del intercambiador tipo Placas Planas.....	29
6.3. Costos de mantenimiento y de energía.....	29
6.3.1. Costos asociados al mantenimiento del intercambiador y equipos asociados	29
6.3.2. Costo asociado al consumo de energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo.....	30
6.3.3. Costo total mantenimiento y energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo.....	31
6.3.4. Costos asociados al mantenimiento del intercambiador de placas planas (nuevo)...	31
6.3.5. Costo asociado al consumo de energía eléctrica-intercambiador de placas planas...	32
6.3.6. Costo total mantenimiento y energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo.....	32

7. IMPLEMENTACIÓN	33
7.1. Montaje del intercambiador de calor tipo placas planas	33
7.1.1. Montaje del intercambiador tipo placas planas en la fosa de agua.	33
7.1.2. Montaje de llaves de control y aislamiento.....	33
7.1.3. Enjuague del intercambiador tipo placas planas.	34
7.1.4. Presurización del circuito y detección de fugas.	34
7.2. Pruebas con giro de unidad.	34
7.2.1. Prueba del intercambiador tipo placas planas con unidad en vacío.	34
7.2.2. Prueba del intercambiador tipo placas planas con unidad en sistema.	35
8. COSTO BENEFICIO	36
9. CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS.....	38
I. REFERENCIAS DEL PROYECTO	38
II. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD LABORAL	57

AREA I.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD LABORAL

1.1. Breve descripción de la Empresa

La Empresa Eléctrica Ende Corani S.A. tiene como actividad principal la generación y venta de energía eléctrica y transmisión de acuerdo a la Ley de Electricidad y las normas legales aplicables, así como el cumplimiento y ejecución de cualquier acto o gestión vinculado o relacionado directa o indirectamente a dichas actividades.

La sociedad también realiza actividades fuera del sistema eléctrico boliviano. Asimismo, presta servicios de operación, mantenimiento y administración, asesoramiento comercial, financiero, de negocio empresarial, tecnológico e industrial, así como de servicios de consultoría, ingeniería y construcción a terceros, relacionados con la actividad eléctrica, produciendo energía en las Centrales Hidroeléctricas Corani, Santa Isabel, San José I y San José II, mediante la operación de cinco unidades en las dos primeras centrales y dos en las últimas; y mediante la operación de diez unidades en el Parque Eólico Qollpana, todas destinadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Todas las centrales hidroeléctricas y eólicas administradas por ENDE CORANI S.A. se ubican en el departamento de Cochabamba. Las Centrales Hidroeléctricas Corani, Santa Isabel, San José I y San José II se encuentran entre los municipios de Colomi y Villa Tunari, en la provincia Chapare; y el Parque Eólico Qollpana, se sitúa en el municipio de Pocona, provincia Carrasco.

El aporte de ENDE CORANI S.A. en el sector eléctrico, obedece a las políticas y estrategias de ENDE Corporación, contribuyendo con el cambio de la matriz energética y apoyando al desarrollo económico y social del país, para satisfacer la demanda interna de energía eléctrica y constituirse en el corazón energético de Sudamérica a través de la exportación de excedentes.

Es un mandato y un reto, siendo que los resultados para la empresa el atender la demanda requerida con oportunidad, eficiencia y confiabilidad, siendo que los resultados de la

operación, tienen un impacto directo en la satisfacción energética de la sociedad. Por lo mencionado, se ha establecido que para dar continuidad a la operación, es vital asegurar el mantenimiento de las unidades, además de invertir en la renovación de las mismas; con la realización de dichas tareas se podrá garantizar la disponibilidad de las máquinas, optimizar tiempos de mantenimiento y generar una mejora en los costos.

1.2. Información Técnica Central Hidroeléctrica Santa Isabel

Embalse de compensación

Sección	Tronco piramidal invertida
Base menor	46,65x128,60 m
Base mayor	104,85x186,92m
Altura	11m
Elevación coronamiento	2602,00 m s. n. m.
Elevación cresta del vertedero	2001,025 m s. n. m.
Volumen útil	122300 m ³
Material	Suelo revestido con membrana impermeable de polímero HDPE

Túnel

Diámetro	2,20 m
Longitud	3227 m

Chimenea de equilibrio

Obra	Pozo / doble cámara
Materiales	Hormigón y acero
Diámetro	1,80 – 2,30 m
Altura	30 m
Nivel a retiro de carga	2608,25 m s. n. m.

Galería blindada subterránea

Diámetro	1,80 m
Longitud inclinada	512 m
Longitud horizontal	645 m
Espesor	14 - 18 mm

Tubería de alta presión superficial (1 Vöest +1 Giovanola + CMC Saudin)

Diámetro	(1,15 – 1,25) m + 0,60 – 0,70 m
Longitud	2x2775 + 56,50 m
Espesor	12 – 24 mm + 13 – 16 mm

Turbinas Pelton 4 Voith + 1 VA Tech

Potencia	2x18330 + 2x19370 kW + 1x21701 kW
Caudal	2x2,50 m ³ /seg + 2x2,57 m ³ /seg + 1x3,15 m ³ /seg
Salto	2x840 m + 2x855,5 + 1x776,6 m

Generadores 2 Mitsubishi + 2 G.E + 1 Elin

Potencia	4x22,5 MVA + 1x23,6 MVA
Tensión	10,5 kV
Coseno φ	4x0,8 + 1x0,9
Velocidad	750 rpm

Transformadores 1 Jeumont Schneider + 1 Lepper Dominit + 1 Toshiba

Potencia	2x45 MVA + 1x25 MVA
Tensión	10,5/115 kV

Canal de descarga

Sección	Rectangular
Material	Hormigón Armado

Ancho	2,50 m / 1,70 m
Alto	4,50 m / 2,25 – 4,80 m
Longitud	100 m / 38,20 m
Pendiente	0,40 – 0,70% / 0,04 – 0,5%

La Central Hidroeléctrica Santa Isabel de la EMPRESA ELECTRICA ENDE CORANI S. A., está situada aproximadamente a 60 km de Cochabamba a unos 1735 m s. n. m.

Cada grupo de máquinas consiste en un alternador con cojinetes y alimentación de aceite de cojinetes (GECO), un órgano de cierre (válvula esférica) y una turbina.

A la turbina pertenece un equipo de engrase automático, un regulador de velocidad con alimentación de aceite regulador y un cierre por ataguías en el lado aguas abajo.

Las características principales de la turbina son:

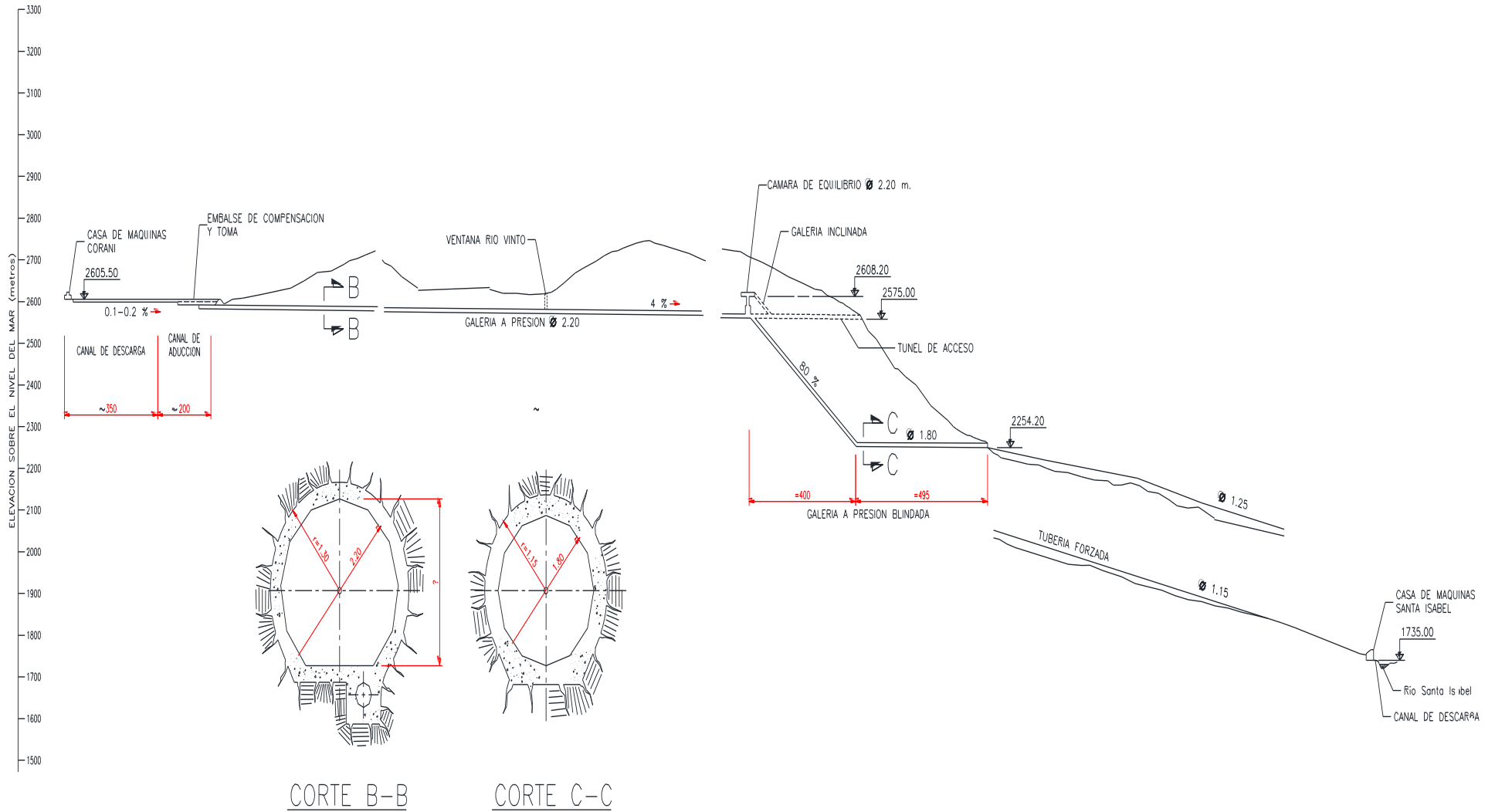
Turbina de chorro libre, de dos toberas, con eje horizontal Rodete embridado en voladizo en el eje del alternador, por ello no existe ningún cojinete de turbina.

Acceso a la parrilla de inspección en la caja lateralmente en la turbina desde el piso a la cota 1731.5 m s. n. m.

Regulación doble de deflector y tobera (regulación exterior). Regulador de gobierno de turbina mecánico (sistema Voith) con instalación proveedora de aceite de presión con bombas y acumulador de presión. En el año 2007 dentro el programa de modernización encarada por la empresa, se realiza el cambio de Regulador de Velocidad y Tensión en las cuatro unidades de la Central Hidroeléctrica Santa Isabel, mutando a un sistema de regulación combinada REIVAX, RTVX 100

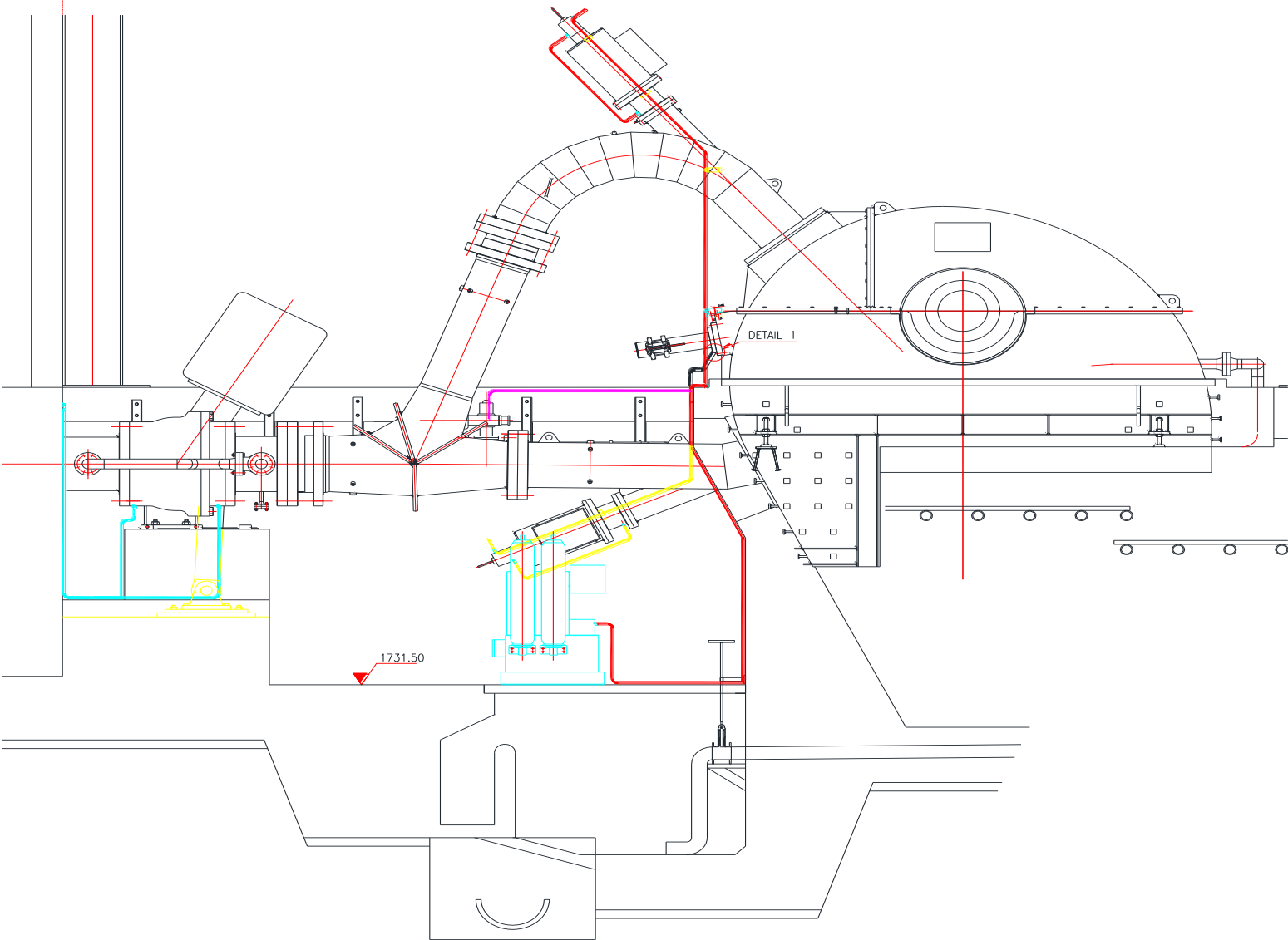
Válvula esférica de turbina, \varnothing 600 mm con accionamiento hidráulico y mando, además se incluye una válvula esférica de tubería, \varnothing 820 mm dispuesta aproximadamente a 2254 m s. n. m., con aparato de disparo y mando.

Figura 1.1: Corte longitudinal de túnel, galería y tubería forzada.



Fuente: Empresa Eléctrica Ende Corani S.A.

Figura1.2: Corte longitudinal de Turbina



Fuente: Empresa Eléctrica Ende Corani S.A.

En diciembre del año 1997 el postulante como parte de convenios existentes entre la Universidad Mayor de San Andrés y entidades privadas, accede a realizar prácticas industriales en las Centrales Hidroeléctricas Corani y Santa Isabel de propiedad de la Empresa Eléctrica Corani S.A., a la conclusión del mismo, la empresa oferta al postulante un contrato por el lapso de un año y posteriormente un contrato indefinido con el cargo de Técnico Electromecánico con permanencia en la Central Santa Isabel.

- Supervisor PROYECTO INCREMENTO DE POTENCIA CENTRAL HIDROELCTRICA SANTA ISABEL.
- Supervisión y ejecución cambio de reguladores de tensión y velocidad de unidades generadoras Corani-Santa Isabel.
- Supervisión y ejecución cambio de sistema de control y fuerza, transferencia automática Servicio Local.
- Ejecución de los trabajos programados de Mantenimientos Mayores de unidades generadoras.
- Análisis y especificación de Cambio de banco de baterías y cargador
- Monitoreo de control vibraciones de unidades generadoras mediante analizador de vibraciones VIVEXPERT II.
- Control de puntos caliente unidades generadoras y sub estación por medio de análisis Termografico.
- Implementación de procedimientos de mantenimiento de equipos correspondientes a las unidades generadoras (Generador, Turbina, Equipos Auxiliares)
- Mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM”
- Análisis de tendencias de AISLACION DE MAQUINAS ROTATIVAS Y TRANSFORMADORES.
- HIDRAULICA INDUSTRIAL, HIDRAULICA PROPORCIONAL, NEUMATICA INDUSTRIAL.
- Apoyo como técnico eléctrico ENDE-JICA, proyecto Sol de mañana generación geotérmica Laguna Colorada

1.3. Características de las relaciones de subordinación y superordenación

De acuerdo al organigrama de la empresa, la dependencia del postulante es a la Gerencia de Operación y Mantenimiento constituida de la siguiente forma:

Gerente de Operación y Mantenimiento

a) Asistente Mantenimiento Electromecánico

- i. Técnico Electromecánico
- ii. Mantenedor
- iii. Operador Electricista

b) Asistente Obras Civiles

- i. Técnico Obras Civiles

1.4. Aspectos centrales caracterizadores de la actividad desarrollada

Se hace conocer que de acuerdo a la estructura adoptada por la administración de la empresa, no existe niveles ni categorización alguna, por lo que la funciones están enmarcadas de acuerdo al perfil de funciones de cada cargo, para nuestro caso citamos el perfil bajo el cual realizamos nuestras actividades, que a su vez están programadas de acuerdo a periodicidades que van de diarias, semanales, anuales, bienales, quinquenales y decenales de acuerdo a un plan maestro de mantenimiento.

1.5. Descripción de Funciones

Área de Operaciones

Mantenimiento Electromecánico

Dependencia:

Se encuentra bajo la supervisión del asistente de Gerencia de Operaciones y Mantenimiento. Con personal bajo cargo según asignación de asistente de Gerencia de Operaciones y Mantenimiento y/o Gerencia Operaciones.

Objetivo:

Planificar, coordinar y realizar el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las unidades de generación, equipos e instalaciones electromecánicas asociadas y realizar la asistencia técnica inmediata en caso de falla.

Contactos:

Contactos Internos: Superintendencia, Jefe de Centrales, personal electromecánico, personal de operación, personal de obras civiles y personal administrativo.

Contactos Externos: Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC) y Centro de Operaciones de Transmisión (COT).

Funciones:

- Realizar la inspección y mantenimiento diario del buen funcionamiento de equipos electromecánicos y de subestación con su correspondiente registro.
- Elaboración de informes y remisión reportes diarios.
- Registro y evaluación de parámetros máximos de funcionamiento de unidades. (DIARIO)
- Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos, instalaciones y otros de acuerdo a programación mensual.
- Responsabilizarse por el uso y conservación de herramientas y equipos bajo encargo.
- Realizar tareas adicionales que le sean asignadas por el jefe de Centrales.
- Cumplir y hacer cumplir todas las normas referentes a las normas de seguridad industrial, salud e higiene ocupacional.
- Realizar la inspección y mantenimiento semanal del buen funcionamiento de equipos electromecánicos y de subestación con su correspondiente registro.
- Elaboración de informes y reportes semanales.

- Planificar y coordinar las tareas del programa de mantenimiento electromecánico:
 - a). Pedido de repuestos e insumos.
 - b). Materiales, equipos y herramientas.
 - c). Programación de mantenimientos de acuerdo a periodicidad.
- Realizar los programas respectivos de liberación y normalización (PEM-AEM) de las unidades generadoras y equipamiento electromecánico asociado.
- Realizar la inspección y mantenimiento mensual del buen funcionamiento de equipos electromecánicos y de subestación con su correspondiente registro.
- Ejecutar mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de acuerdo a plan maestro (MENSUAL).
- Mantenimiento y operación de válvulas 820 mm. (MENSUAL)
- Inspección de tubería Penstock y línea 10 KV (MENSUAL)
- Actualización de índices de mantenimiento de equipos (MENSUAL)
- Elaboración de informes y reportes mensuales de equipos y unidades generadoras. (MENSUAL)
- Ejecutar mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de acuerdo a plan maestro (ANUAL)
- Inspección y mantenimiento de línea 10 kV y fibra óptica COR-SIS.(ANUAL).
- Actualización de planos eléctricos, mecánicos, hidráulicos y planillas de referencia (ANUAL)
- Mantenimiento compuertas embalse de compensación y sistema Vinto (SEMESTRAL)
- Elaborar el borrador de pedido de repuestos correspondiente a los equipos y unidades generadoras. (ANUAL)
- Ejecutar mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de acuerdo a plan maestro (BIENAL)
- Ejecutar los trabajos programados de Mantenimientos Mayores (BIENAL).
- Ejecutar mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de acuerdo a plan maestro (TRIENAL)
- Mantenimiento y operación de compuertas y válvulas sistema Penstock.(QUINQUENAL)

- Administración de software especializado de los equipos correspondientes.
- Reposición y restablecimiento de unidades y equipos al SIN en caso de falla.
- Recopilar datos, eventos y realizar el análisis de falla en una primera etapa.

Índice Desempeño:

Alta disponibilidad (no parada) de las unidades generadoras que se refleja mensualmente y anualmente, así como también el cumplimiento de los programas diarios, semanales y mensuales.

Características del Entorno:

Trabajo en campamento distante a 86 km de Cochabamba, disponibilidad a tiempo completo dentro de campamento, trabajo con alto nivel de ruido, riesgo eléctrico por alta y media tensión, alto nivel de campos electromagnéticos, trabajo bajo presión en caso de falla por restitución pronta de la unidad generadora, esquena de turnos de 9 días por 5.

AREA II.

2. DESCRIPCION DE UN CASO DE ESTUDIO REAL, AFRONTADO Y SOLVENTADO Y/O RESUELTO POR EL POSTULANTE.

OPTIMIZACION Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE LUBRICACION DE COJINETES, UNIDAD SANTA ISABEL 4.

3. GENERALIDADES

3.1. Presentación

El presente proyecto corresponde al “Rediseño y optimización del sistema de refrigeración del aceite de lubricación de cojinetes de la unidad SIS-4”, enmarcada dentro del “Programa de Mejora Continua”.

El Programa de Mejora Continua es un programa de incentivos anual, que apunta al desarrollo de una filosofía de mejora continua, con un programa que alienta la participación

de los trabajadores, la puesta en práctica rápida de soluciones y la simplificación de los procesos del trabajo.

3.2. Antecedentes

3.2.1. Cojinete de contacto deslizante

Por tratarse de máquinas eléctricas relativamente grandes, los cojinetes son del tipo radial de deslizamiento, con lubricación forzada. Los cojinetes constan de un pedestal y una tapa de cojinetes (de plancha laminada y soldada), el pedestal sirve de soporte para los cojinetes y de depósito auxiliar de aceite.

El cojinete inferior se encuentra rebajado en la parte central, cerca al punto de unión con el cojinete superior, formando el bolsillo de aceite, en el que se reúne lubricante necesario para formar la película de aceite entre el eje y el cojinete (Fotografía 2.2)

Cuando el eje se encuentra girando a una velocidad determinada, la presión de la película de aceite es lo suficientemente grande, para levantar el eje y evitar la fricción entre materiales. Todos los cojinetes están provistos de agujeros para acomodar uno o más termómetros y relés de temperatura, que permiten lograr su control y protección.

Con el objeto de evitar corrientes erráticas que dañarían el cojinete, uno de los mismos se encuentra montado sobre material aislante, encontrándose también aislado sus pernos y tuercas. Para evitar que esta aislación sea puenteada por las líneas de circulación de aceite se aíslan las salidas de lubricación (Fotografía 2.3).

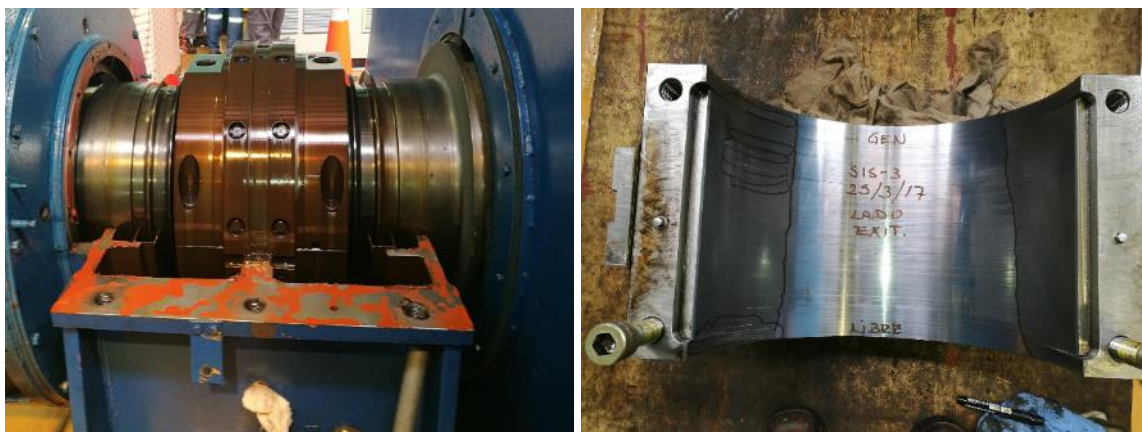
Los cojinetes son del tipo de cojinetes guía, que están diseñados para soportar grandes cargas radiales y ligeras cargas axiales; el asiento de los cojinetes es semiesférico para permitir su alineación. Las superficies de rodamiento están recubiertas con metal Blanco o Babbitt.

Figura 2.1: Tabla de composición material antifricción BABBITT

Composición Química (%)	BABBITT SEGÚN NORMA TÉCNICA ASTM B-23							
	Base Estaño				Base Plomo			
	1	2	3	11	7	8	13	15
Estaño	90 - 92	88 - 90	83 - 85	86 - 89	9.3 - 10.7	4.5 - 5.5	5.5 - 6.5	0.8 - 1.2
Antimonio	4 - 5	7 - 8	7.5 - 8.5	6.0 - 7.5	14 - 16	14 - 16	9.5 - 10.5	14.5 - 17.5
Plomo	0.35	0.35	0.35	0.5	Balance	Balance	Balance	Balance
Cobre	4 - 5	3 - 4	7.5 - 8.5	5 - 6.5	0.5	0.5	0.5	0.6
Hierro	0.08	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1
Arsénico	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6	0.25	0.8 - 1.4
Bismuto	0.08	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Temp. Sólidos °C	223	241	240		240	237		248
Temp. Líquidos °C	371	354	422		268	272		281
Rango solidificación °C	148	113	182		28	35		33
Dureza Brinell a 20°C	17	24.5	27		22.5	20		21
Dureza Brinell a 100°C	8	12	14.5		10.5	9.5		13
Densidad gr/cc	7.38	7.34	7.41	7.4	10.33	10.53	10.48	10.71
Temp. Máx. de operación °C	145	145	145	145	125	125	125	125

Fuente internet (<http://www.metalurgicavulcano.com>)

Fotografía 2.2: Cojinete montado sobre eje y concha inferior desmontada



Fuente: Archivo fotográfico Central Santa Isabel.

Fotografía 2.3: Semi luna guía y aislamiento de cojinete



Fuente: Archivo fotográfico Central Santa Isabel.

3.2.2. Sistema de lubricación de cojinetes

Cada grupo de máquinas de las cinco unidades generadoras de la Central Santa Isabel, cuentan dentro de su constitución un alternador con cojinetes y alimentación de aceite de cojinetes (GECO), proporcionando una lubricación hidrodinámica o también llamada de película completa o fluida.

La lubricación hidrodinámica no depende de la introducción del lubricante a presión, aunque puede ocurrir, sino de la existencia de un suministro adecuado todo el tiempo. La presión de la película es creada por la propia superficie en movimiento al jalar el lubricante hacia una zona cuneiforme a una velocidad lo suficientemente alta como para crear la presión necesaria, a fin de separar las superficies contra la carga en el cojinete. (Richard G. Budynas, 2008)

El propósito de la lubricación consiste en reducir la fricción, el desgaste y el calentamiento de elementos de máquinas, que se mueven uno con respecto al otro. Se define un lubricante como cualquier sustancia que, cuando se inserta entre las superficies móviles, logra estos propósitos. (Richard G. Budynas, 2008)

La unidad de presión de aceite de lubricación de cojinetes se encuentra compuesta por:

- Intercambiador de calor (tipo coraza y tubos)

- Grupo motor y bomba de lubricación (bomba de engranajes rectos)
- Grupo motor y bomba de agua (bomba de impulsor cerrado)
- Líneas de presión de agua y aceite

La principal función de la unidad de presión de aceite de lubricación de cojinetes, es la de refrigerar y proporcionar lubricación continua a los cojinetes, para lograr este cometido se dispone de una fosa de agua, que es abastecida de forma continua con agua turbinada desde la fosa de la turbina. La unidad de presión de aceite de lubricación de cojinetes, fue instalada conjuntamente con la unidad generadora SIS-4 en la década de los 70, debido al uso de un intercambiador de calor de tipo coraza tubos, el mantenimiento se torna un tanto moroso considerando los siguientes aspectos:

- Parada prolongada de la unidad generadora para el mantenimiento del intercambiador de calor.
- Obstrucción del has de tubos por presencia de material orgánico, (fotografía 2.4)
- Desmontaje de cabezales externo anterior y posterior.
- Limpieza de has de tubos lado aceite, dificultoso y moroso por su constitución (fotografía 2.5).
- Deterioro de los espejos del has de tubos por corrosión (Fotografía 2.4)
- Corrosión en las tapas de cabezales.

Fotografía 2.4: Obstrucción y deterioro del cabezal, intercambiador coraza-tubo



Fuente: Archivo fotográfico Central Santa Isabel

Figura 2.5: Suciedad en el has de tubos lado aceite, intercambiador coraza-tubo



Fuente: Archivo fotográfico Central Santa Isabel

4. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo principal del proyecto presentado por el postulante fue el de reemplazar y optimizar el sistema de refrigeración de lubricación de cojinetes en servicio por su deterioro normal debido al tiempo de funcionamiento, por otro sistema en el cual los costos de operación y mantenimiento se reduzcan significativamente y brinden la refrigeración requerida dentro de los márgenes seguros de funcionamiento de los cojinetes.

Para tal efecto, se ha realizado la planificación, dimensionamiento del radiador y rediseño del circuito hidráulico.

El rediseño se desarrolló bajo el siguiente alcance:

- Diagnóstico del sistema de refrigeración actual.
- Diagnóstico de las condiciones de refrigeración de cojinetes actual.
- Levantamiento y relevamiento del circuito hidráulico existente.
- Posibilidad de rediseño del diagrama hidráulico, tanto en la línea de aceite como la de agua.
- Readecuar el circuito hidráulico actual como sistema Stand By del sistema a implementarse.

- Dimensionamiento del intercambiador de calor de acuerdo al caudal y las temperaturas de proceso actuales.
- Detalles constructivos generales.

5. CRITERIOS DE REDISEÑO

5.1. Criterios Generales

5.1.1. Diagnostico

Previo a la elaboración del proyecto, se procedió al relevamiento de datos constructivos, valores hidráulicos de funcionamiento y la evaluación detallada de la instalación del sistema de refrigeración y lubricación de cojinetes existente, bajo el siguiente detalle:

1. Caudal de flujo de aceite hacia cojinete lado excitación 13.5 G.P.M. según plano G.E.136D6283. (Anexo 1. Plano 1)
2. Caudal de flujo de aceite hacia cojinete lado turbina 26.5 G.P.M. según plano G.E.136D6283. (Anexo 1. Plano 1)
3. Unidad actual de lubricación de fabricación Kenett Corporación DWG N° KT 3316, diagrama que no existe en archivos, solo existiendo uno similar para la unidad COR-3, KT-3317-2
4. Cambiador de calor Coraza –Tubo de un paso en la región anular y dos pasos en los tubos, del cual no se cuenta con las características técnicas ni térmicas de funcionamiento.
5. Bomba de impulsión forzada de agua hacia el intercambiador de 36.5 G.P.M.,
6. Motor eléctrico trifásico de accionamiento de la bomba de 7.5 HP.
7. Control de la temperatura de aceite y agua mediante sensores de temperatura tipo PT 100 en el ingreso y salida de cojinetes.
8. También se determinó de acuerdo a historiales, que el mantenimiento en el lado aceite del cambiador de calor, no se la puede realizar efectivamente, por la imposibilidad de desmontaje del has de tubos.
9. Debido al tiempo de puesta en funcionamiento de la unidad (montaje hasta la actualidad), esta presenta un factor de incrustación elevada en la superficie del has de tubos lado aceite, lo cual afecta directamente en la eficacia del intercambiador.

5.1.2. Aspectos generales asumidos para el rediseño

En base a los resultados del diagnóstico se asumieron los siguientes criterios para el rediseño y el futuro equipamiento:

1. Se decidió por la alternativa de instalar un cambiador de calor de placas planas, similar a la instalada en la unidad SIS-5, BARRIQUAND Tipo IJS.
2. En base a los datos técnicos y térmicos del cambiador de calor BARRIQUAND Tipo IJS, los cuales se tienen a disposición de acuerdo al proyecto SANTA ISABEL 02H010 Quinta unidad (Anexo I, Documento 1, pág. 1-4); se realiza el cálculo teórico y la aplicabilidad del mismo en función al caudal y las temperaturas de proceso actual de la unidad SIS-4, obteniéndose resultados teóricos satisfactorios.
3. Con el objeto de no desechar el sistema original de enfriamiento de aceite, se realiza adaptaciones en las líneas de aceite y agua, de forma que el mencionado sistema pase a conformar un sistema de respaldo Stand By.
4. El rediseño propuesto está casi exento de mantenimiento en la parte del intercambiador, solo limitándose a realizar limpiezas superficiales con poca indisposición de unidad.
5. Al proponer el rediseño del cambiador de calor, esta deja de lado el mantenimiento del sistema de refrigeración correspondiente al agua, ya que esta no necesita de circulación forzada de agua, sino más bien aprovecha el agua turbinada proveniente de la fosa de turbina.

5.2. Descripción del rediseño

Tomando en cuenta los resultados del diagnóstico, los criterios descritos anteriormente y los aspectos puntuales coordinados con los responsables del “Programa de Mejora Continua”, se procedió al rediseño y elaboración del presente proyecto.

5.2.1. Calculo teórico

Propiedades físicas y térmicas del aceite lubricante de la unidad SIS-4

Aceite

Tipo de aceite		ISO VG 68
Densidad @ 40°C	δ_h	880 kg/m ³
Calor específico	c_{ph}	0.474 kcal/kg°C
Conductividad térmica	k_h	0.110 kcal/h m°C
Viscosidad dinámica	μ_h	32.180 mPa-s

Agua

Rapidez de flujo de masa	\dot{m}_c	167 664 kg/h
Densidad	δ_c	998 kg/m ³
Calor específico	c_{pc}	1.00 kcal/kg°C
Conductividad térmica	k_c	0.516 kcal/h m°C
Viscosidad dinámica	μ_c	1.00 mPa-s

Temperaturas de proceso

Las temperaturas de proceso abajo detalladas, corresponden a temperaturas máximas, en función a los valores que se registran cada hora y a diario por personal de operación y posteriormente promediadas por el personal de mantenimiento electromecánico SIS.

Temp. aceite ingreso a cojinetes	T_{h2}	34.6 °C
Temp. aceite salida lado turbina	T_T	48.2 °C
Temp. aceite salida lado excitatriz	T_E	42.8 °C
Temp. aceite promedio ingreso intercambiador.	T_{h1}	45.5 °C
Temp. agua intercambiador	T_{c1}	17.0 °C

En función a las propiedades técnicas de funcionamiento del intercambiador BARRIQUAND IJS y sus características constructivas las cuales se conocen, se procederá al cálculo en función al coeficiente global de transferencia U y el área de transferencia del intercambiador que también es conocido de acuerdo a la hoja técnica del intercambiador (Anexo I, Documento 1, pág. 1-4)

Coeficiente global de transferencia limpio	U_L	145 kcal/h m ² °C
Coeficiente global de transferencia sucio	U_S	116 kcal/h m ² °C
Área de transferencia del cambiador	A_T	11 m ²

Se obtiene el caudal volumétrico de agua en la fosa, en función al volumen de la fosa y el tiempo de llenado de la fosa, obteniéndose un valor promedio de:

$$\dot{V}_c = 168.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_c = \dot{V}_c * \delta_c = 168.0 (\text{m}^3/\text{h}) * 998 (\text{kg}/\text{m}^3) \Rightarrow \dot{m}_c = 167664 (\text{kg}/\text{h})$$

$$\bar{Q} = C_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (1)$$

$$C_c = \dot{m}_c * c_{pc} = 167664 (\text{kg}/\text{h}) * 1.00 (\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}) \Rightarrow C_c = 167664 (\text{kcal}/\text{h}^\circ\text{C})$$

Remplazando en (1)

$$\bar{Q} = 167664 (\text{kcal}/\text{h}^\circ\text{C}) * (T_{c2} - 17^\circ\text{C}) \quad (1')$$

$$\bar{Q} = C_h (T_{h1} - T_{h2}) \quad (2)$$

$$C_h = \dot{m}_h * c_{ph}$$

Donde:

$$\dot{m}_h = \dot{V}_h * \delta_h$$

De acuerdo al diagnóstico apartado 5.1.1 puntos 1 y 2, General Electric establece un caudal total de:

$$\dot{V}_h = 40 \text{ G.P.M} = 8.75 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\dot{m}_h = \dot{V}_h * \delta_h = 880 \text{ kg}/\text{m}^3 * 8.75 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \dot{m}_h = 7656 (\text{kg}/\text{h})$$

Remplazando se tiene:

$$C_h = \dot{m}_h * c_{ph} = 7656 (\text{kg}/\text{h}) * 0.474 (\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}) \Rightarrow C_h = 3628.9 (\text{kcal}/\text{h}^\circ\text{C})$$

Remplazando en (2)

$$\bar{Q} = 3628.9 (\text{kcal}/\text{h}^\circ\text{C}) * (45.5^\circ\text{C} - T_{h2}) \quad (2')$$

De acuerdo a la ecuación de un intercambiador en función de su rendimiento (ξ) se tiene:

$$\bar{Q} = \xi * C_{min} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (3)$$

Donde:

\bar{Q} rapidez del flujo de calor.

ξ Eficiencia, razón real de transferencia de calor.

C_{min} Capacidad calorífica del fluido que tenga menor $m_c * c_{pc}$ ó $m_h * c_{ph}$

T_{hl} Temperatura de proceso, fluido caliente ingreso al intercambiador.

T_{cl} Temperatura de proceso, fluido frío ingreso al intercambiador.

$$C_{max} = C_c = \dot{m}_c * c_{pc} = 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$C_{min} = C_h = \dot{m}_h * c_{ph} = 3\ 628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$\bar{Q} = \xi * 3\ 628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} * (45.5 - 17)^\circ\text{C}$$

$$\bar{Q} = \xi * 103423.65 \text{ (kcal/h)} \quad (3')$$

Para obtener la eficacia hacemos uso de la ecuación propuesta por Yanus A. Çengel (Transferencia de Calor y Masa, pag. 636)

$$\xi = 1 - e^{-\left\{ \frac{NUT^{0.22}}{\frac{C_{min}}{C_{max}}} \left[e^{\left(-\frac{C_{min}}{C_{max}} NUT^{0.78} \right)} - 1 \right] \right\}}$$

Donde:

$$C_{min}/C_{max} = 3\ 628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} / 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} = 0.0216$$

$$N^\circ \text{ de unidades de transferencia de calor } NUT = U_L * A_T / C_{min}$$

$$NUT = 145 \text{ (kcal/h m}^2\text{ }^\circ\text{C)} * 11 \text{ m}^2 / 3\ 628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} = 0.439$$

Con los valores obtenidos del NUT y la razón de capacidades caloríficas se tiene:

$$\xi = 1 - e^{-\left\{ \frac{0.439^{0.22}}{0.0216} \left[e^{\left(-0.0216 * 0.439^{0.78} \right)} - 1 \right] \right\}}$$

$$\xi = 0.3537$$

Remplazando en (3')

$$\bar{Q} = 0.3537 * 103423.6 \text{ (kcal/h)}$$

$$\bar{Q} = 36580.9 \text{ (kcal/h)}$$

Reemplazando en (1') y despejando T_{c2}

$$\bar{Q} = 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} * (T_{c2} - 17^\circ\text{C}) \quad (1')$$

$$T_{c2} = 17 + 36580.9 \text{ (kcal/h)} / 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{c2} = 17.21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando en (2') y despejando T_{h2}

$$T_{h2} = 45.5 - 36580.9 \text{ (kcal/h)} / 3628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{h2} = 35.42 \text{ }^\circ\text{C}$$

Considerando el factor de incrustación o ensuciamiento se tiene:

$$NUT = 116 \text{ (kcal/h m}^2\text{ }^\circ\text{C)} * 11 \text{ m}^2 / 3628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} = 0.3516$$

$$\xi = 0.30$$

$$\bar{Q} = 0.30 * 103423.6 \text{ (kcal/h)}$$

$$\bar{Q} = 31027.1 \text{ (kcal/h)}$$

$$T_{c2} = 17 + 31027.1 \text{ (kcal/h)} / 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{c2} = 17.18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{h2} = 45.5 - 31027.1 \text{ (kcal/h)} / 3628.5 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{h2} = 36.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Cuando se realiza la consideración del factor de incrustación, el valor de la temperatura de salida del aceite del intercambiador esta 2.2 °C por sobre la temperatura de proceso, se aumenta el área de transferencia incrementando dos placas, con esta consideración se realiza el recalcu logrando obtener los siguientes resultados:

$$A_{T'} = 13.6 \text{ m}^2$$

$$NUT = 116 \text{ (kcal/h m}^2\text{ }^\circ\text{C)} * 13.6 \text{ m}^2 / 3628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)} = 0.435$$

$$\xi = 0.355$$

$$\bar{Q} = 0.34 * 103423.6 \text{ (kcal/h)}$$

$$\bar{Q} = 36715.4 \text{ (kcal/h)}$$

$$T_{c2} = 17 + 36715.4 \text{ (kcal/h)} / 167664 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{c2} = 17.21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{h2} = 45.5 - 36715.4 \text{ (kcal/h)} / 3628.9 \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

$$T_{h2} = 35.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De acuerdo al cálculo teórico realizado, el cambiador de calor propuesto satisface a las temperaturas de proceso de la refrigeración de cojinetes.

5.2.2. Criterios particulares asumidos en el rediseño

El proyecto se desarrolla en base al circuito hidráulico existente bajo los siguientes criterios particulares:

- a. Para la implementación del proyecto, deberá reacomodarse algunos equipos instalados en el sector de la fosa de agua, como ser:
 - Motor y bomba principal de agua
 - Chupador de la bomba principal de agua
 - Canastillo de la bomba principal
 - Bomba de cebado
 - Canastillo de la bomba de cebado
- b. El intercambiador propuesto será implementado en paralelo al intercambiador actual, pudiendo ser aislado mediante llaves de control en el ingreso y salida de su circuito hidráulico. Este intercambiador se conectará, mediante llaves de control y tubería galvanizada de 1½” y uniones roscadas, como también embreada en la parte del intercambiador.

6. REDISEÑO

6.1. Intercambiador tipo coraza-tubo 1-2

Los intercambiadores tipo Coraza-Tubo 1-2, están constituidos por una cámara grande -la coraza- aloja muchos tubos que pueden hacer una, dos o muchas pasadas dentro de la coraza. En nuestro caso el fluido del lado coraza (aceite) hace una pasada y el fluido del lado de los tubos (agua) hace dos pasadas. (Fotografías 2.4, 2.5)

Debido a que estos intercambiadores forzan la circulación de agua por un sistema de has de tubos en el lado del agua, estas necesitan ser abastecidas con agua exenta de sólidos e impurezas orgánicas.

6.1.1. Ventajas del intercambiador tipo Coraza-Tubo 1-2

A continuación daremos a conocer las ventajas proporcionadas por este tipo de intercambiador:

- Con relación al tipo de placas planas estas son relativamente de mayor eficiencia pero en un porcentaje mínimo.

6.1.2. Desventajas del intercambiador tipo Coraza-Tubo 1-2

A continuación daremos a conocer las desventajas proporcionadas por este tipo de intercambiador:

- Requiere necesariamente de un motor y bomba que posibilite la circulación del líquido refrigerante por el haz de tubos.
- Bloqueo y obstrucción del flujo de agua en el periodo de lluvias debido a que el agua de alimentación que se utiliza como fluido refrigerante y que proviene de la salida de la turbina, generalmente llega acompañada de materia vegetal, la que paulatinamente se llega a depositar en la tapa de la coraza del intercambiador tapando el mismo y reduciendo la eficacia del intercambiador.
- Mantenimiento continuo del intercambiador en la época de lluvias con una indisponibilidad de máquina de aproximadamente ocho horas.
- Por ser equipos compactos no es posible efectuar el mantenimiento de la parte de circulación del aceite de intercambiador.
- Mayor posibilidad de fallas debido a que estos intercambiadores requieren de equipamiento auxiliar: Motor y bomba de impulsión de agua.
- Indisponibilidad de máquina para realizar el mantenimiento de estos equipos
- El motor como equipo eléctrico y al estar sometido a un trabajo casi permanente requiere mantenimiento periódico.
- En el periodo de lluvia el pre filtros que se hallan en el tubo de succión llega a obstruirse producto de la presencia de material vegetal que logra pasar la malla filtrante, aspecto que provoca anomalía en la provisión de agua hacia el circuito

de refrigeración de aceite y que necesariamente, precisa la asistencia de personal para su limpieza.

- Al estar automatizado el mando eléctrico para el ingreso de la bomba de cebado y la bomba principal, estos circuitos también necesitan su mantenimiento, tanto en arrancadores, relés térmicos, contactares auxiliares y temporizados.

6.2. Intercambiador tipo Placas Planas

Aprovechando la industria nacional, se pudo llegar a abaratar el costo de la fabricación del intercambiador en un valor aproximado de 70%, ya que esta fue realizada en una industria completamente nacional “PROSATEC” (Anexo I, Documento 2) bajo normas y pruebas certificadas, el intercambiador al tener un régimen de funcionamiento sumergido en agua fue realizado en acero inoxidable bajo las siguientes designaciones:

- Material de construcción en acero Inox AISI 304
- Paneles en plancha acero Inox Esquema 40
- Paneles en plancha acero Inox AISI 304 e= 2mm.
- Tubos y colectores en acero Inox Esquema 40
- Presión de prueba certificada a 10 Bar.
- Precio del intercambiador **8 000 \$US.**

A fin de que el proceso de fabricación del intercambiador de placas planas se la realice de forma satisfactoria, se proporciona al fabricante el plano correspondiente con las especificaciones requeridas (Anexo I, Plano 2, Fotografía 1). Dentro de los requerimientos que se solicita al fabricante es la utilización de proceso de soldadura certificada.

6.2.1. Ventajas del intercambiador tipo Placas Planas

Como se llegó a mencionar líneas arriba, este tipo de intercambiador fue implementado por la firma VA TECH dentro del proyecto llave en mano ADICION DE POTENCIA Central

Hidroeléctrica Santa Isabel realizado el año 2004, fruto de esta implementación se llegó a observar el buen desempeño de este tipo de intercambiador

A continuación daremos a conocer las ventajas proporcionadas por este tipo de intercambiador:

- Mayor vida útil al estar construido en acero Inoxidable.
- No es propenso a obstrucciones por ser un sistema de flujo sin restricción en la parte del agua y que esta implique un mal funcionamiento del intercambiador.
- El mantenimiento del intercambiador es prácticamente “cero”, limitándose a periódicas limpiezas externas que no demoran más de 10 minutos.
- No necesita de bombas de impulsión de agua, al no depender de una circulación forzada de agua.
- Al no contar con el anterior punto, queda prácticamente fuera el circuito de fuerza y de mando de la refrigeración de agua, y por ende se reduce su mantenimiento.
- Como sistema de funcionamiento autónomo, puede ser aprovechado con miras de automatización, ya que se reduce una serie de circuitos correspondiente a las bombas de agua.

6.2.2. Desventajas del intercambiador tipo Placas Planas

- No existe desventaja aparente.

6.3. Costos de mantenimiento y de energía

6.3.1. Costos asociados al mantenimiento del intercambiador y equipos asociados

Los costos indirectos generados por la organización de mantenimiento tienen como fin la administración de la mano de obra directa. El mecanismo que asegura que los costos indirectos sean distribuidos en las órdenes de trabajo es su involucramiento en el cálculo del costo de mano de obra directa, debido a que en todas las órdenes de trabajo existe al menos una especialidad asignada, pero no todas necesitan materiales ni herramientas que son costos directos de fácil asignación a labores definidas.

Dentro de los costos indirectos se encuentran todos los costos de mantenimiento que no se pueden cargar directamente en una orden de trabajo, su total corresponde al presupuesto o gasto real propio de los centros de responsabilidad de mantenimiento.

El costo que implica el mantenimiento de cada uno de los equipos asociados al sistema de refrigeración del aceite de lubricación de cojinetes, considera el costo directo de la mano de obra, las horas de mantenimiento y por sobretodo el costo que demanda el periodo de indisponibilidad de la unidad y no así el costo indirecto.

Tabla 5.1, Costo asociado al mantenimiento del intercambiador Coraza-Tubo

EQUIPO	Mtto. programado (h / año)	Ejecución (h-hom./año)	Costo repuestos (US\$)	Costo mano de obra (US\$/h-hom.)	Subtotal (US\$)
Mtto. Intercambiador	24	48	40	6	328
Mtto. Motor ref. principal	20	60	30	6	390
Mtto. Moto-bomba de cebado	20	60	20	6	380
Mtto. Moto-bomba de cebado	8	16	30	6	126
Mtto. Circuitos de mando	8	8	-	6	48
Mtto. Fosa y canastillos	16	16	-	6	96
Costo por indisponibilidad	24	-	-	-	6100
TOTAL					7468

Fuente: Elaboración propia, 2007

COSTO ASOCIADO AL MANTENIMIENTO: 7420,00 US\$

6.3.2. Costo asociado al consumo de energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo

Por ser un equipo que trabaja en conjunción con una moto-bomba de impulsión de agua, esta necesariamente realiza un consumo de energía, que multiplicada por el periodo de

funcionamiento llega a ser considerable. Se debe tener en cuenta que la bomba de agua funciona casi todo el año en forma permanente a la par del funcionamiento de la unidad generadora.

De acuerdo al factor de planta de la central hidroeléctrica Santa Isabel, el periodo de funcionamiento anual del motor está contemplado en un 96 %, valor con el cual se realizan los cálculos.

Tabla 5.2, Costo asociado al consumo de energía del intercambiador Coraza-Tubo

EQUIPO	Funcionamiento (h / año)	Potencia Nominal (kW)	Eficiencia	Costo energía (US\$/MW-h.)	Subtotal (US\$)
Motobomba ref. principal	8500	5.6	0.8	14	833
Motobomba de cebado	20	0.5	0.8	14	10
TOTAL					843

Fuente: Elaboración propia, 2007

COSTO ASOCIADO AL CONSUMO DE ENERGIA: 843,00 US\$

6.3.3. Costo total mantenimiento y energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo

De acuerdo a las tablas desglosadas en los puntos 5.3.1 y 5.3.2, el costo total será la suma del costo por mantenimiento y el costo por consumo de energía eléctrica.

$$C_{Tot.} = C_{Mtto.} + C_{Energia}$$

$$C_{Tot.} = 7468,00 \text{ US\$} + 843,00 \text{ US\$} = 8311,00 \text{ US\$}$$

$$C_{Tot.} = 8311,00 \text{ US\$}$$

6.3.4. Costos asociados al mantenimiento del intercambiador de placas planas (nuevo)

Con la implementación del intercambiador de placas planas, esta no necesita refrigeración forzada en el lado del fluido frío, más al contrario aprovecha el caudal de derivación

proveniente del agua turbinada, ya que se logra constituir a manera de un apéndice del circuito de lubricación de cojinetes, estando inmersa en una fosa de agua que es alimentada continuamente mediante dos tuberías proveniente de la fosa de turbina.

De esta forma se logra reducir el tiempo de intervención por concepto de mantenimiento de intercambiador, limitándose a periodos cortos de limpieza de fosa de agua y limpieza superficial del intercambiador.

Tabla 5.3, Costo asociado al mantenimiento del intercambiador Placas Planas

EQUIPO	Mtto. programado (h / año)	Ejecución (h-hom./año)	Costo repuestos (US\$)	Costo mano de obra (US\$/h-hom.)	Subtotal (US\$)
Mtto. Intercambiador	4	4	-	6	24
Costo por indisponibilidad	4	-	-	-	1016
TOTAL					1040

Fuente: Elaboración propia, 2007

COSTO ASOCIADO AL MANTENIMIENTO: 1040,00 US\$

6.3.5. Costo asociado al consumo de energía eléctrica-intercambiador de placas planas

Por ser un equipo que no necesita de una bomba para forzar la circulación de agua, esta no realiza gasto de energía eléctrica.

COSTO ASOCIADO AL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA: 0.0 \$US

6.3.6. Costo total mantenimiento y energía eléctrica, intercambiador Coraza-Tubo

De acuerdo a las tablas desglosadas en los puntos 5.3.4 y 5.3.5, el costo total será la suma del costo por mantenimiento y el costo por consumo de energía eléctrica que para el caso del intercambiador de placas planas es cero.

$$C_{Tot.} = C_{Mtto.} + C_{Energia}$$

$$C_{Tot.} = 1040,00 \text{ US\$} + 00,00 \text{ US\$} = 1040,00 \text{ US\$}$$

$$C_{Tot.} = 1040,00 \text{ US\$}$$

COSTO TOTAL ASOCIADO AL MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE ENERGIA: 1040,00 US\$

7. IMPLEMENTACIÓN

7.1. Montaje del intercambiador de calor tipo placas planas

7.1.1. Montaje del intercambiador tipo placas planas en la fosa de agua.

Previo al montaje el intercambiador de placas planas se realiza trabajos precedentes con la finalidad de reacomodar la bomba de cebado y la tubería de succión de la bomba principal de refrigeración. Con la unidad fuera de servicio se procede a realizar el montaje de intercambiador de placas planas en el interior de la fosa de agua, esta actividad no presento mayor contratiempo, posteriormente se realiza la interconexión con el circuito existente mediante tuberías roscadas y el enlace al cambiador tipo palcas planas mediante bridas de acoplamiento (Anexo I, Fotografía 4)

7.1.2. Montaje de llaves de control y aislamiento

A fin de mantener en Stand by el intercambiador Coraza-Tubo 1-2, se intercalo en el circuito hidráulico existente llaves de control y aislamiento en la salida y entrada del Intercambiador Coraza-Tubo 1-2, lo implementado dará una doble confiabilidad al sistema de refrigeración de aceite ya que nos permitirá poder seleccionar con cuál de los dos intercambiadores se quiere trabajar, especialmente para efectos de mantenimiento.

Con esta implementación se logra trabajar en la tubería hacia el intercambiador tipo placas planas sin interferir en el funcionamiento de la unidad. (Anexo I, Fotografía 5)

7.1.3. Enjuague del intercambiador tipo placas planas.

A efectos de eliminar limañas y partículas residuales de escoria que podrían haberse depositado dentro del circuito hidráulico implementado, se procede a realizar el enjuague de todo el circuito, para ello se hace circular aceite mediante la impulsión de la bomba de aceite, desde el tanque hacia el intercambiador y hacia un turril, a fin de eliminar partículas que se encontrasen en el interior del intercambiador tipo placas planas. Para ello se tuvo el suficiente cuidado de aislar el circuito hidráulico restante mediante las llaves de control.

La cantidad de aceite recirculado fue de aproximadamente 450 litros, los que en etapas fueron devueltas hacia al tanque realizando un filtrado con el equipo UFM 3010 FV 125 μ m y 10 μ m de filtrado en succión y expulsión respectivamente. (Anexo I, Fotografía 6)

7.1.4. Presurización del circuito y detección de fugas.

Realizado el conexionado de las líneas de aceite se procedió a presurizar el sistema, aislando para ello el intercambiador Coraza-Tubo 1-2, mediante esta prueba se pudo establecer que la presión en la línea hidráulica se encuentra en 19 p.s.i. y un caudal de 145 l/min similar al funcionamiento del intercambiador anterior. Por otro lado se verifico en las mirillas de inspección que los niveles de funcionamiento se encuentran similares al anterior sistema.

7.2. Pruebas con giro de unidad.

7.2.1. Prueba del intercambiador tipo placas planas con unidad en vacío.

Para obtener valores comparativos y referenciales, se arranca la unidad en vacío y se realiza el registro de temperaturas, presión, y nivel de funcionamiento con el sistema de refrigeración de intercambiador tipo Coraza-Tubo 1-2, estableciéndose como parámetro variable el tiempo de funcionamiento.

Posteriormente se realiza la prueba con el intercambiador de tipo placas planas, registrándose los parámetros similares a la anterior prueba y en periodos de tiempo iguales; obteniéndose los resultados que se detallan en el Anexo I, Tabla 1.

INTECAMBIADOR CORAZA-TUBO

Presión	19 psi.
Altura en mirilla L.T.	8.8 cm
Altura en mirilla L.E.	7.8 cm.

INTERCAMBIADOR TIPO PLACAS PLANAS

Presión	18.7 psi.
Altura en mirilla L.T.	8.8 cm
Altura en mirilla L.E.	7.8 cm.

En función a los valores obtenidos y comparando ambos registros se puede establecer que el funcionamiento del cambiador tipo placas planas, satisface a los requerimientos de la unidad para funcionamiento en vacío, tal cual se puede apreciar en los valores descritos en el Anexo I, Tabla1.

7.2.2. Prueba del intercambiador tipo placas planas con unidad en sistema.

Para esta prueba se recurre a registros de temperaturas para ciertas potencias las cuales fueron promediadas y establecen un valor de referencia bastante confiable, obtenido con el intercambiador Coraza-tubo. Con los valores obtenidos, se coloca el generador a las potencias establecidas dejándolo funcionar por un lapso de 10 minutos por cada potencia, periodo en el cual se observa la variación que va sufriendo los distintos parámetros registrados y que se detallan en el Anexo I. Tabla 2.

INTERCAMBIADOR TIPO PLACAS PLANAS

Presión	18.7 psi.
Altura en mirilla L.T.	8.8 cm
Altura en mirilla L.E.	7.8 cm.

8. COSTO BENEFICIO

Para la evaluación del costo beneficio de la implementación del intercambiador de placas planas en el sistema de refrigeración de aceite de lubricación de cojinetes de la unida SIS-4, se realizó las siguientes consideraciones:

- Los montos expresados en los cálculos precedentes fueron obtenidos en el departamento contable de la empresa los cuales fueron debidamente ponderados.
- El valor por concepto de repuestos fue ponderado por el postulante en función al recambio que habitualmente se realiza y consultado a almacén el costo de los mismos.
- Los otros valores que se consultaron a los departamentos correspondientes de la empresa fueron:
 - a) Costo de Energía, este valor se toma en la franja de consumo medio, para nuestro caso 14 US\$/MW-h.
 - b) Costo por indisponibilidad de unidad por un periodo de 24 horas, 6100 US\$
 - c) Costo por horas-hombre, 6 US\$/h-hom.
- Con las consideraciones antes mencionadas en la tabla adjunta, se detalla el costo beneficio en el primer, segundo y tercer año (Ver Tabla 7.1)

Tabla 7.1, Ponderación del Costo–beneficio producto de la implementación del intercambiador de placas planas

COSTO – BENEFICIO			
Expresado en US\$			
DETALLE	AÑOS		
	1	2	3
Costo intercambiador Placas-Planas	8000	0	0
Costo montaje intercambiador Placas-Planas	317	-	-
Costos asociados mantenimiento Intercambiador Coraza -Tubo	8311	8311	8311
Costos asociados mantenimiento Intercambiador Placas Planas	0	1040	1040
Beneficio neto por año	-6	7271	7271

Fuente: Elaboración propia, 2007

9. CONCLUSIONES

Concluida la implementación del intercambiador tipo placas planas en la unidad SIS-3 y posterior a las pruebas descritas en los puntos 6.2.1 y 6.2.2, se puede concluir:

- De los datos de temperatura obtenidos con el nuevo sistema se observa una importante reducción en 1 °C de la temperatura de aceite de ingreso hacia los cojinetes; la gráfica adjuntada en el anexo (ver Grafica 1), establece claramente esta reducción de temperatura que fue obtenida de los valores de temperaturas máximas que se toman a diario como parte del control de las unidades generadoras.(Ver Tabla 1, 2 y 3)
- El anexo XX fu graficado tomando los valores del mes de ENERO y MARZO del 2007, siendo que el intercambiador ingreso en operación el 13 de febrero de 2007.
- Este sistema reducirá significativamente el mantenimiento del sistema de lubricación de cojinetes.
- De acuerdo a los valores obtenidos en las pruebas realizadas, este intercambiador puede ser implementado en el sistema de refrigeración de aceite en la unida SIS-3 por ser una maquina idéntica a la unida SIS-4.

- El sistema puede ser implementado en las demás unidades, después de someterlo a funcionamiento por periodo prolongado y así establecer su buen funcionamiento.
- Por la estanqueidad y la relativa baja presión que utiliza este sistema no representa riesgo hacia el medio ambiente.
- Para una eventual implementación en las unidades SIS-1 y SIS-2, se recomienda realizar el cálculo correspondiente ya que la solicitud de caudal de lubricación de cojinetes en estas unidades es mayor (cojinetes de mayor dimensión)
- El beneficio de 7271,00 US\$/año, se multiplicaría por dos (14542,00 US\$), si se implementa en la unidad SIS-3.

Bibliografía

Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico DF: Mac-Graw Hill.

Richard G. Budynas, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico D.F.: Mc Graw-Hill.

Frank K. Raj M. M. Mark S. B. (2012). *Principios de Transferencia de Calor*. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores,

Materiales Antifricción, <http://www.metalurgicavulcano.com>

ANEXOS.

I. REFERENCIAS DEL PROYECTO



BOUVIER HYDRO

48/51, Bd paul Langevin - BP 7
38601 FONTAINE Cedex (France)
tel: (33) 04 76 85 95 23
fax: (33) 04 76 26 16 20

PROJECT: **SANTA ISABEL**
Bouvier Hydro Reference: **02H010**

Addition of a fifth unit

COOLING SYSTEM
HEAT EXCHANGER CALCULATION

Rev.	Date	Written by	Visa	Checked by	Visa
a	26/06/03	JF DURIN	JFD	J. FONKENELL	JF

1) Objective of this document

The aim of this document is to present the results of the calculation about the water – oil heat exchanger. This heat exchanger will be immersed in the pit full of water coming from the tailrace channel.

2) Input data

Features of the cooling fluid

Water type : water of river
Maximum temperature of water : 20 °C
Minimal temperature of water: 1°C
Maximum external pressure: 0,4 bars (relative pressure)

Features of the fluid to be cooled

Fluid to be cooled in the heat exchanger : mineral oil ISO VG 46
Specific heat : 2010 J / kg.K°
Density : 880 kg/m³
Required oil temperature at the outlet of the heat exchanger : 40 °C
Oil temperature at the heat exchanger inlet : 54 °C
Oil flow : 5700 l/ hour
Maximum internal pressure: 10 bars (relative pressure)

3) Results

SANTA ISABEL
Cooling system
Heat exchanger calculation

Rév. a

BARRIQUAND		PLATULAR®	
ECHANGEURS		All Welded Plate Heat Exchanger	
		VERSION 1.7	
Customer	: VA TECH BOUVIER HYDRO	Item N°	: 0
Equipment N°	: DP JFD01/06/03/03	Offer	: -
Responsible Engineer	: J.Y. LACHAIZE	Page :	1/3
1 DESIGNATION	: IJS - 4 x 8 x 155 x 1100 / 1 x 8 x 620 x 1100		
2 Operation	: Affaire 02H010 SANTA ISABEL		
3 THERMAL DATAS		Stream A	Stream B
4 Fluid		ISO VG 46	Eau
5 Service Pressure (bar(a))		7	1.4
6 situation		Incond. Liquid	Incond. Liquid
7 Flow Rate (kg/h)	In	5 016	171 877
8	Out	5 016	171 877
9 Temperature (°C)	In	54	20
10	Out	40	20.1
11 Density (kg/m³)		880.0	998.0
12 Specific Heat (kcal/ kg °C)		0.480	1.001
13 Thermal conductivity (kcal/ h.m²°C)		0.110	0.516
14 Viscosity (mPas.s)		32.180	1.000
15 Latent Heat (kcal/ kg)			
16 Molar Mass (g/mol)		18	18
17			
18 operation of the Heat Exchanger			
19 Design Heat Exchanged (kcal/h // W) :		33 707 // 39 194	
20 Heat Transfer Area (m²) :	11.0	LMT d cor. (°C) :	26.2
21 Heat Transfer Coef. (kcal/ h.m²°C) :		clean : 145 fouled :	116
22 Fouling factor (h m² °C/kcal) :	17.20	Oversizing (%) :	25
23 Calculated Pressure Drop (bar)		0.80	0.0200
24 Plates wall thickness (mm)		2.0	
25 description of the Heat Exchanger			
26 Type :	IJS	Flow Arrangement :	4 x 8 x 155 x 1100 / 1 x 8 x 620 x 1100
27 Position :	horizontal <input checked="" type="checkbox"/>	vertical <input type="checkbox"/>	inclination <input type="checkbox"/>
28 Number of units in parallel :	1	Number of units in serie :	1
29 Dimensions	Type of H. T. Channels	Spot welds	Clear Free Flow
30	Spacing (mm) / Arrangement	4 / 43x43	50
31	Number of Passes	4	1
32	Number of Channels per Pass	8	32
33	Channel's Height / Length	155 1110	155 1110
34	Number of Acces	In: - Out: -	In: - Out: -
35	(mm)	100 100	155 155
36 Weight (kg) :	0	Full with water :	0
37 Velocity (m/s) :		0.32	0.19
38 Volume (m³) :		0.031	0.019
39 NOTES			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
	rev.		rév
Drawed up by	visa		
checked by	visa		
The lines marked with an x have to be confirmed by the customer according to PED 97/23CE			
checked by Customer	visa		
Export Office	BELGIUM 114, rue C. Demblon B-4630 SOUMAGNE	Tel : 32 04 3 77 42 49	Tel : 33 04 77 44 22 20
Heac-Office	FRANCE 8-13, rue St Claude F-42300 ROANNE	Tel : 33 04 77 44 22 20	Tel : 32 04 3 77 42 49

BARRIQUAND		PLATULAR®		All Welded Plate Heat Exchanger		VERSION 1.7	
Customer	VA TECH BOUVIER HYDRO						
Equipment N°	DP JFD01/06/03/03	Item N°	0				
Responsible Engineer	J.Y. LACHAIZE	Offer	-			Page : 2/3	
1	design conditions		Stream A	Stream B			
2	min/max service temperature (°C)		0 / 100	0 / 100			x
3	max. service pressure (bar)		0 / 6	0 / 1.4			x
4	Design Temperature (°C)		0 / 100	0 / 100			x
5	Pressure (bar)		0 / 6	0 / 2			x
6							
7	Design Code	CODAP 2000 C r2 z=0.7					x
8	Regulation	CE					
9	Fluide						
10	Type	liquide		liquide			
11	group according to	2		2			x
12	Volume (L)	31.4		18.9			
13							
14	snow and wind	Y/N	N	seismic calculation	Y/N	N	x
15	installation :	external	Y/N	N	inside	Y/N	O
16	nozzle loads	Y/N	N				x
17	vibrations	Y/N	N	mechanical / thermal fatigue	Y/N	N	x
18	erosion :	A, Y/N	N	b =	Y/N	N	x
19	hazardous grade :	Ar. 3.3		module of evaluation :		-	
20	notified body :	0		Country :		France	
21	Third Part Inspection :	Client					
22	Material						
23	Products wetted parts	Plate-pack :	1.4404				x
24		collector	1.4404	1.4404			x
25		Gasket :	sans Joint	sans Joint			x
26	without product contact						
27	Pressure Plate / Support Assembly :	P265 GH		Tightening Bolts and Nuts :	42 CD 4		x
28	Extra-Thickness for corrosion (carbon steel parts) (mm) :	1					x
29	Extra-Thickness for corrosion (stainlesssteel but H.T. area) (mm) :	-					x
30							
31							
32							
33							
34	TUBULURES						
35		DN	PN	Type	Operation		
36	A1	40	16	type 01B Face surélevée	entrée fluide chaud		x
37	A2	40	16	type 01B Face surélevée	sortie fluide chaud		x
38	B1						x
39	B2						x
40	A3						x
41	A4						
42	B3						
43	B4						
44							
45	NOTES						
46							
47							
48							
	rev.						rév
	date						
	Drawn up by	visa					
	checked by	visa					
The lines marked with an x have to be confirmed by the customer according to PED 97/23CE							
	checked by Customer	visa					
Export Office	BELGIUM 114, rue C. Demblon B-4630 SOUMAGNE			Tel : 32 04 3 77 42 49		Tel : 33 04 77 44 22 20	
Head-Office	FRANCE 9-13, rue St Claude F-42300 ROANNE			Tel : 33 04 77 44 22 20		Tel : 32 04 3 77 42 49	

PROSATEC

Cochabamba. 6 de noviembre de 2006

Señores
Empresa CORANI
Atn. Ing. José Gabriel Flores
Cochabamba.-

Ref. COTIZACION, FABRICACION DE ENFRIADOR

Mediante la presente me dirijo a usted para hacerle llegar la siguiente cotización.

Detalle de Fabricación

- 1.- Detalle de fabricación de acuerdo al original existente
- 2.- Material de construcción en acero Inox AISI 304.
- 3.- Paneles en plancha acero Inox AISI 304 e = 2mm.
- 4.- Tubos y Colectores en acero Inox Esquema 40.
- 5.- Proceso de soldadura de acuerdo a normas.
- 6.- Presión de prueba certificada a 10 Bar.

El precio por la fabricación es de 6654 \$us. (Dólares americanos) incluye impuestos de ley.

Anticipo del 50% a la orden del trabajo.

Plazo de entrega 30 Días hábiles.

Cotización válida por 10 Días

Sin otro particular me despido de usted muy cordialmente.



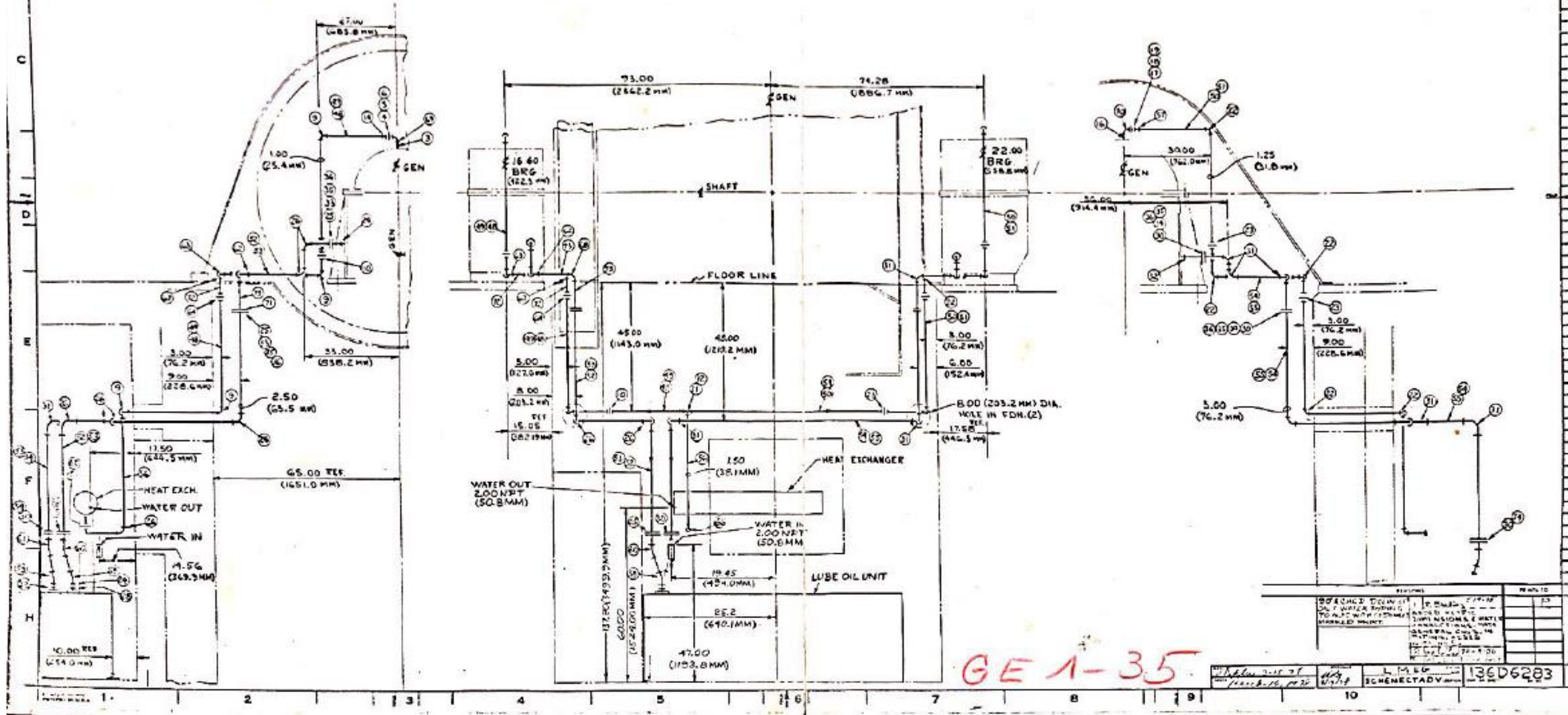
Lucio Peña
Gerente

LUCIO Peña Ruiz
GERENTE
PROSATEC

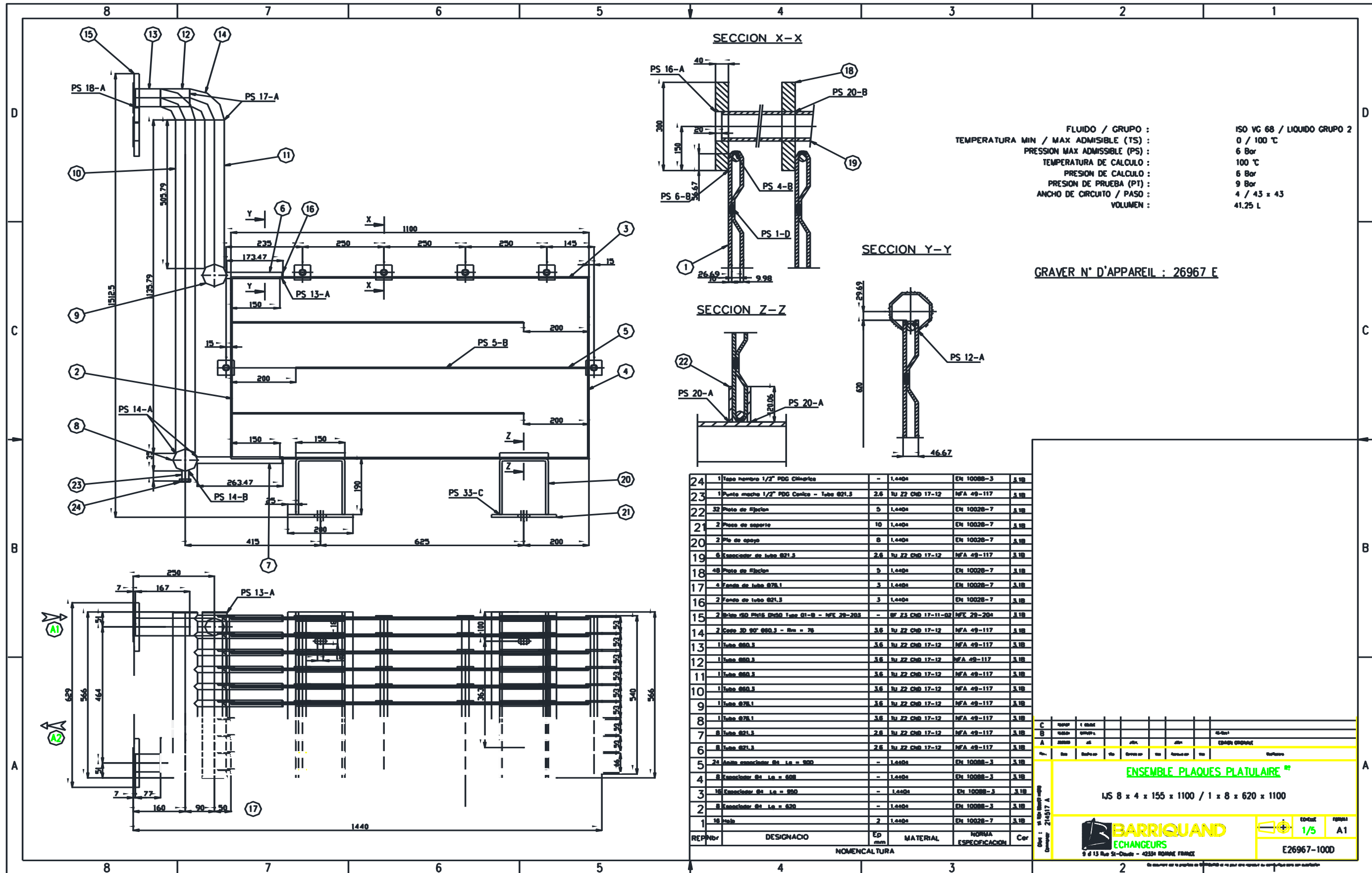
PLISSUED

EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD, S.A.
 COCHABAMBA - BOLIVIA
 SANTA ISABEL - HYDROELECTRIC EXPANSION PROJECT
 ORDER NO 1418/50P

- NOTES
- OIL FLOW TO AND FROM 1640 (427.3 MM) BRG. = 15.5 GPM. (58.1 LITERS/MIN.)
 - OIL FLOW TO AND FROM 22.00 (558.8 MM) BRG. = 24.5 GPM. (90.5 LITERS/MIN.)
 - LUBE OIL UNIT OUTLINE KENETT CORP DWG NO 47-3316
 - ALL PIPING TO BE SUPPORTED BY ERECTOR, IN ANORMAN LINE MANNER, USING PTD 37 THROUGH 45 IN FIELD
 - WATER PUMP RATING 50 GPM., 30 FT. 1.



Plano 1, Fuente: General Electric Drawing 136D6283



FLUIDO / GRUPO : ISO VG 68 / LIQUIDO GRUPO 2
 TEMPERATURA MIN / MAX ADMISIBLE (TS) : 0 / 100 °C
 PRESION MAX ADMISIBLE (PS) : 6 Bar
 TEMPERATURA DE CALCULO : 100 °C
 PRESION DE CALCULO : 6 Bar
 PRESION DE PRUEBA (PT) : 9 Bar
 ANCHO DE CIRCUITO / PASO : 4 / 43 x 43
 VOLUMEN : 41.25 L

GRAVER N° D'APPAREIL : 26967 E

24	1	Tubo número 1/2" PDC Cloritas	-	1.400	EN 10088-3	3.1B
23	1	Punto macho 1/2" PDC Calico - Tubo Ø21.3	2.6	11	NFA 49-117	3.1B
22	32	Placa de fijación	5	1.400	EN 10028-7	3.1B
21	2	Placa de soporte	10	1.400	EN 10028-7	3.1B
20	2	Placa de apoyo	8	1.400	EN 10028-7	3.1B
19	6	Encañador de tubo Ø21.3	2.6	11	NFA 49-117	3.1B
18	48	Placa de fijación	5	1.400	EN 10028-7	3.1B
17	4	Fondo de tubo Ø21.3	3	1.400	EN 10028-7	3.1B
16	2	Fondo de tubo Ø21.3	3	1.400	EN 10028-7	3.1B
15	2	Tubo Ø20 PDC Cloritas Tipo 01-B - NFA 29-204	-	11	NFA 29-204	3.1B
14	2	Codo 3D 90° Ø20.3 - Rm = 78	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
13	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
12	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
11	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
10	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
9	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
8	1	Tubo Ø20.3	3.6	11	NFA 49-117	3.1B
7	8	Tubo Ø21.3	2.6	11	NFA 49-117	3.1B
6	8	Tubo Ø21.3	2.6	11	NFA 49-117	3.1B
5	24	Anillo encañador Øt. Lc = 900	-	1.400	EN 10088-3	3.1B
4	8	Encañador Øt. Lc = 600	-	1.400	EN 10088-3	3.1B
3	16	Encañador Øt. Lc = 900	-	1.400	EN 10088-3	3.1B
2	8	Encañador Øt. Lc = 600	-	1.400	EN 10088-3	3.1B
1	16	Placa	2	1.400	EN 10028-7	3.1B
REP	Nbr	DESIGNACION	EP mm	MATERIAL	NORMA ESPECIFICACION	Cor

C 10000
 B 10000
 A 10000

ENSEMBLE PLAQUES PLATULAIRE[®]
 I/S 8 x 4 x 155 x 1100 / 1 x 8 x 620 x 1100

BARRIQUAND
 ECHANGEURS
 9 et 13 Rue St-Charles - 42300 ROANNE FRANCE

E26967-100D

Plano 2, Plano mecánico, rediseño de intercambiador Placas Planas; Fuente: Empresa Eléctrica Ende Corani S.A.

Fotografía. 1, Fabricación del intercambiador de Placas Planas



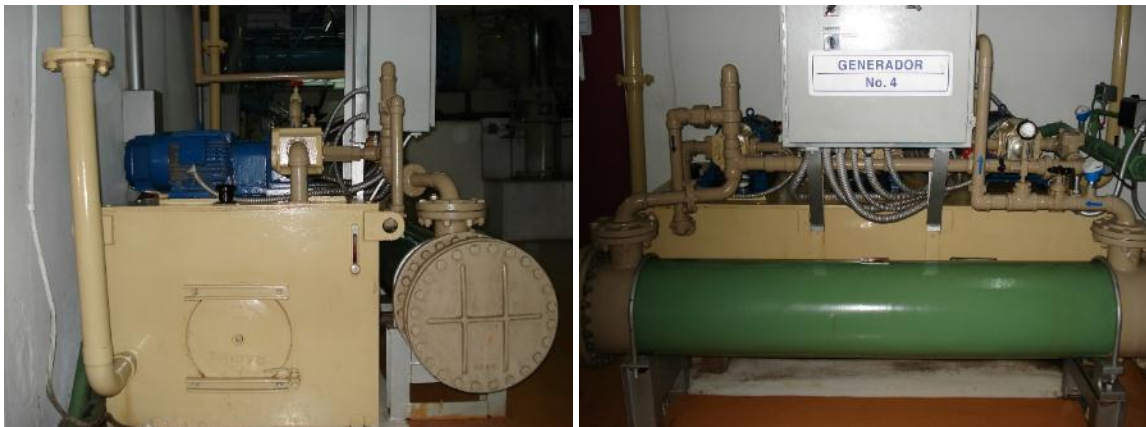
Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Fotografía. 2, Prueba de presión del intercambiador de Placas Planas



Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Fotografía 3, Unidad de presión de aceite antes de la implementación



Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Fotografía 4, Montaje del intercambiador de placas planas en la fosa



Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Fotografía 5, Implementación de tuberías y llaves de aislamiento





Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Fotografía 6, Enjuague interno y pruebas





Fuente: Archivos fotográficos Central Santa Isabel

Tabla 1. Valores comparativos de temperaturas entre intercambiador Coraza-Tubo y Placas Planas

**TABLA DE TEMPERATURAS PARA UNIDAD CON GIRO EN VACIO
INTERCAMBIADOR CORAZA- TUBO Y PLACAS PLANAS**

Tiempo	Temperatura de entrada de aceite °C		Temperatura de entrada de aceite °C		Temperatura de entrada de aceite °C		Termocupla °C		Termocupla °C		Presion (p.s.i.)		Temperatura °C		Temperatura °C	
			Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Agua	
	Cojinetes		Coj. Turb.		Coj. Excit.		Coj. Turb.		Coj. Exct.		Linea de presion		Tanque		Fosa	
1'	22.5	18.6	21.8	33.9	21.8	26.8	44,0	40,0	32,0	28,0	18,0	19,0	21,7	21,1	15,1	14,3
16'	27.9	26.3	40.1	40.7	35.2	34.7	56,0	58,0	46,0	46,0	16,0	19.5	29,4	28,9	15,0	14.5
25'	30.2	28.7	43.2	42.8	38.5	36.7	62,0	62,0	52,0	51,0	15.5	18.8	32,2	30,5	15,0	14.5
35'	32.7	30.6	45,0	44.1	40,0	38.5	63,0	62,0	54,0	53,0	15,0	19,0	35,5	34,4	15,0	14.5
45'		31.7		44.6		39.6		62,0		54,0		19,0		35,8		
55'		32.2		45.2		40.1		62.5		55,0		19,0		36,6		
65'		32.6		45.6		40.5		62,0		55,0		19,0		37,7		
75'		32.9		45.9		40.7		62,0		56,0		19,0		37,7		



 Valores registrados con intercambiador Coraza-Tubo
 Valores registrados con intercambiador Placas- Planas

Fuente: Elaboración propia, 2007

Tabla 2. Valores comparativos de temperaturas entre intercambiador Coraza-Tubo y Placas Planas en función a la potencia

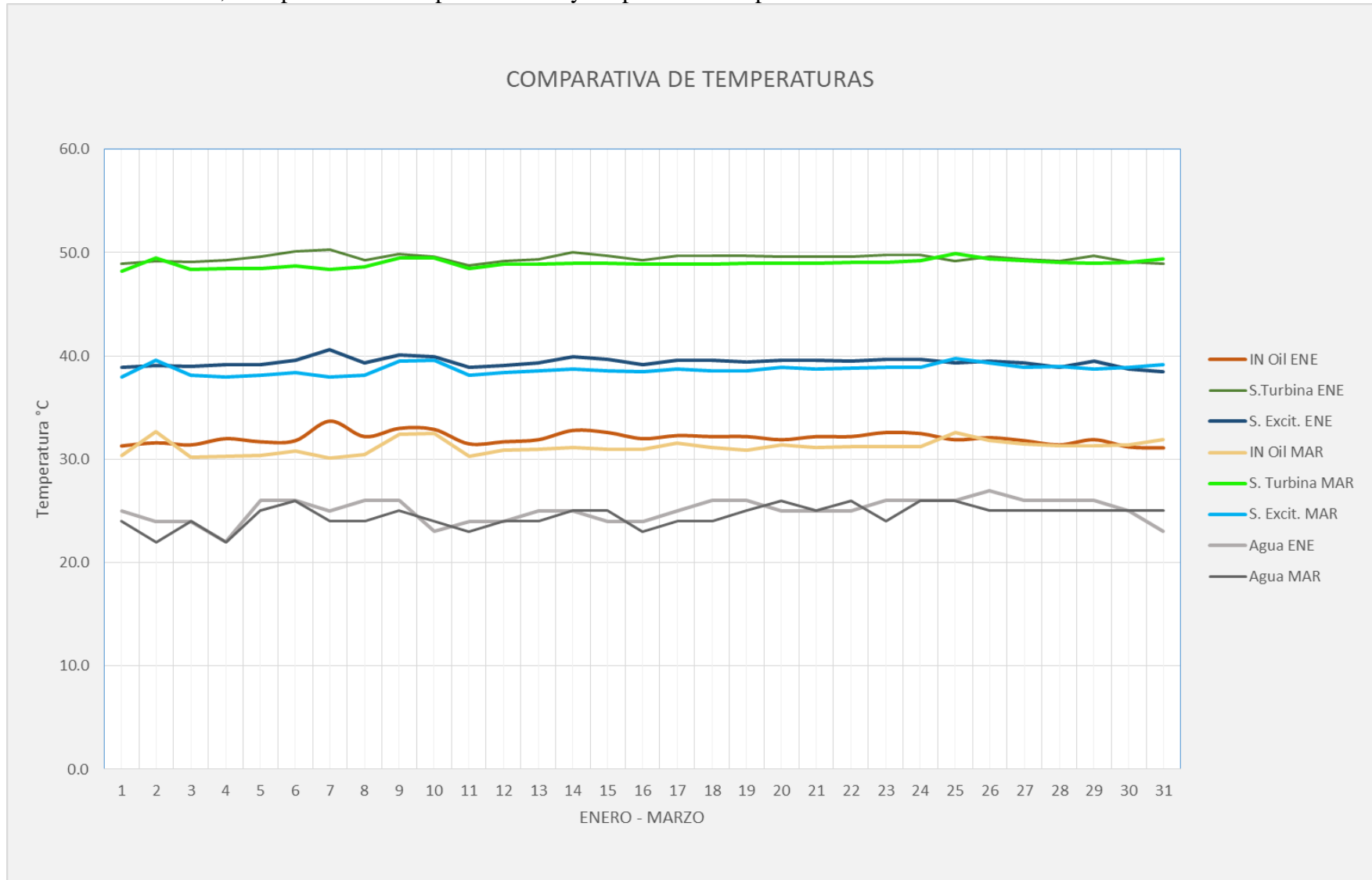
TABLA DE TEMEPERATURAS PROCESO EN FUNCION A LA POTENCIA DE LA UNIDAD

MW	Temperatura de entrada de aceite °C		Temperatura de entrada de aceite °C		Temperatura de entrada de aceite °C		Termocupla °C		Termocupla °C		Presion (p.s.i.)		Temperatura °C		Temperatura °C	
			Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Coraza-Tubo	Placas-Planas	Agua	
	Cojinetes		Coj. Turb.		Coj. Excit.		Coj. Turb.		Coj. Exct.		Linea de presion		Tanque		Fosa	
7	33.4		47.8		42.5		55.0		66.3				23,0		15.6	
11	33.5	31.8	47.6	45.5	42.3	40.3	53,0	52,0	67.4	65,0		18.5	22.5	22,0	15.2	13.4
15.5	33.4	32.4	47.8	46.1	42.4	40.8	52.5	52,0	69.7	67,0		18.5	23,0	23,0	15.5	13.8
18	33.5	32.7	47.9	46.3	42.4	41.2	52,0	52,0	70,0	69,0		18.5	23,0	23,0	15.4	14.2

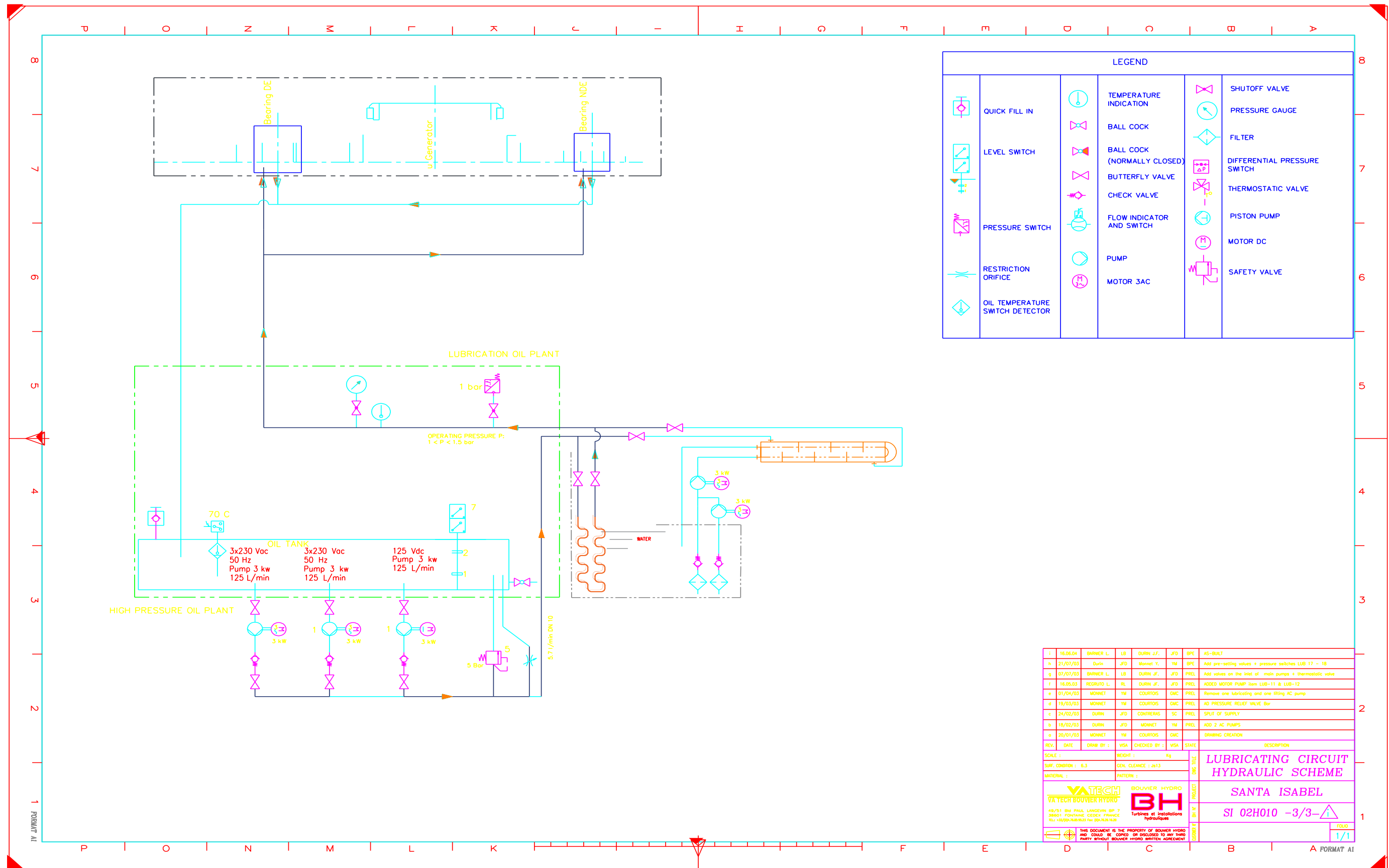
 Valores registrados con intercambiador Coraza-Tubo
 Valores registrados con intercambiador Placas- Planas

Fuente: Elaboración propia, 2007

Grafico 1, Comparativa de temperaturas ante y despues de la implementacion el intercambiador de Placas Planas



Fuente: Archivos Central Santa Isabel



Plano 3, Diagrama hidráulico circuito lubricación posterior a la implementación; Fuente: Empresa Eléctrica Ende Corani S.A.

II. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD LABORAL

a) **Análisis de la actividad del postulante en relación a las exigencias y requerimientos que le planteó la sociedad y las respuestas generadas a partir de la propia actividad laboral:**

¿Cómo el trabajo desempeñado le ayudó a desarrollar su capacidad de resolver y anticiparse a problemas?

R.- Dentro de la empresa en la cual desarrollo mis actividades como técnico electromecánico, el conocimiento adquirido en las aulas de la carrera de electromecánica, coadyuvaron de gran manera en la solución de ciertas interrogantes y problemas que día a día surge en la industria, el vincular problemas mecánicos asociados a defectos eléctricos o problemas eléctricos asociados a defectos mecánicos, son el pilar sobre el cual se fortalece el electromecánico y tiene mayor facilidad de reconocer los problemas y proponer soluciones o en su defecto solucionarlos de manera oportuna.

¿Qué conocimientos y destrezas le fueron exigidos?

R.- El trabajo que desarrollo en la **Central Hidroeléctrica Santa Isabel**, exige amplio conocimiento mecánico y eléctrico; por la misma naturaleza de la generación de energía hidroeléctrica que tiene a la turbina como maquina impulsora esencialmente mecánica y al generador y transformador como maquinas eléctricas, este hecho implícitamente exige conocer a profundidad **lectura de planos eléctricos, mecánicos, hidráulicos**, normas de ensayos mecánicos y eléctricos.

Por otro lado la situación de trabajar en campamento hace que muchas eventualidades tengan que ser solucionadas de la forma más favorable y en un periodo de tiempo corto, lo antes mencionado obliga a que como personal de mantenimiento electromecánico tengamos la pericia y habilidad para corregir o en su defecto realizar los cambios pertinentes que involucran la habilidad de manejo de herramientas, equipos y demás apoyo que se requiera.

Otro aspecto que no se puede dejar de mencionar es el constante avance tecnológico que se viene dando y la imperiosa necesidad de mantenerse al día en estos conocimientos como

ser los campos de la electrónica, control, software y manejo de programas específicos de ciertos equipos vinculados a la operación y mantenimiento de generadores y turbinas.

¿Qué desafíos éticos afrontó?

R.- Partiendo del entendido que la ética profesional se refiere al conjunto de normas o principios por los cuales debe regirse una persona en el ámbito laboral, es bueno hacer conocer que la Empresa Eléctrica Corani S.A. en la época de los años 90 implemento el Código de Ética Empresarial, norma que claramente señala las obligaciones éticas del trabajador hacía con la empresa, para el caso específico del postulante no tropezó con acciones anti éticas propuesta por terceros, en el ámbito interno siempre se mantuvo la ética profesional entre colegas respetando los puntos de vista que muchas veces pueden ser divergentes.

¿Qué problemas le supuso el manejo de recursos humanos, materiales y técnicos en el trabajo desarrollado y cómo los resolvió?

R.- Los distintos trabajos encarados en la Centrales Hidroeléctricas Corani y Santa Isabel pertenecientes a la Empresa Eléctrica Ende Corani S. A. tienen base en los campamentos de las citadas centrales, implicando ello realizar trabajos por equipo, y de acuerdo a las actividades encaradas se conforman grupos y dentro de ese grupo se designa un responsable, en ese entendido, cuando toco asumir esa responsabilidad se tropezó generalmente con trabajadores antiguos quienes son reacios a poder aplicar nuevas técnicas, enfrascados en el pensamiento “siempre se hizo así” que a su vez obvia normas básicas de seguridad, etc.,

Al criterio del postulante esta situación es una reacción natural que tiene el ser humano al sentirse desplazado por lo que reacciona defensivamente, la mejor forma de afrontar estas situaciones es mediante el dialogo en base al respeto, no es nada favorable creer que por tener estudios universitarios, somos una panacea de conocimientos, nunca se debe olvidar que algún mérito tiene el personal antiguo y no por nada esta tanto tiempo en esta actividad, cuando se tiene bien presente esa situación es un buen inicio, caso contrario, no se augura buenos resultados, este comentario se basa en la actitud **que toman algunos** practicantes y que a la postre no les va nada bien.

b) Análisis de la actividad en relación a la formación recibida en la Facultad de Tecnología de la UMSA:

¿Qué exigencias a nivel de conocimientos, destrezas y actitudes éticas le planteó el desempeño laboral y que no fueron previstas en su Plan de Estudios?

R.- En la actualidad existe una tendencia alta de implementar en la industria sistemas de gestión de calidad como son las normas ISO 9000, gestión ambiental ISO14000, salud y seguridad OHSAS 18000; es necesario conocer y aplicar estas normas que tienen la finalidad de mejorar integralmente el desempeño de una empresa basado en estándares internacionales y certificaciones.

A mi modesto entender el campo de la electromecánica es demasiado amplio, pero el pensum bajo el cual egrese de esta carrera (1995), estoy seguro, que contemplo mucha de las necesidades que la actividad laboral me llegó a exigir, algo que considero muy importante es que se debe reforzar en la parte mecánica, métodos predictivos de evaluación de equipos como son el uso del análisis vibracional, el ultrasonido, la termografía, que no solo se aplica en el campo que me desempeño, sino, en la mayoría de las empresas industriales.

¿Qué elementos de la formación recibida en la Facultad de Tecnología de la UMSA han sido más útiles y cuáles menos?

R.- Vuelvo a reiterar que por azares de la vida, mi persona llega a trabajar en una planta de generación hidroeléctrica y prácticamente todos los elementos de mi formación académica me son útiles, ya que a esta actividad se encuentran vinculadas la mecánica, hidráulica, mecánica de materiales, ajustes y tolerancias, tecnología mecánica, soldadura, electricidad, máquinas de corriente continua, máquinas de corriente alterna, transformadores, protección, líneas de transmisión y control eléctrico convencional; como se podrá notar es prácticamente el contenido resumido del pensum de electromecánica.

¿Cómo considera el perfil profesional desarrollado en su Carrera respecto a los requerimientos del medio?

R.- La carrera de electromecánica tiene un buen perfil profesional debido a que el conocimiento adquirido en los campos de la electricidad y mecánica son relativamente avanzados dotando al estudiante de una versatilidad que dada la situación marca la diferencia, situación que nos pone en ventaja respecto a profesionales en electricidad o en mecánica, aspecto que fue detectado por muchas universidades tanto públicas como privadas que no tardaron en ofertar esta carrera.

Propuestas de conceptos, elementos, acciones, contenidos, etc., que deberían ser considerados o introducidos en el Plan de Estudios de su Carrera.

Es muy importante que la dirección de carrera interactúe con los egresados a fin de recibir una retroalimentación de su experiencia en el ámbito laboral y en función a esa actividad, adecuar el pensum periódicamente. Por otro lado no se cuan factible sea crear menciones específicas en redes eléctricas, automatización industrial, mecatrónica y otros, esto con el fin de que el estudiante pueda ir a una fuente de trabajo como especialista.

Considerando los cambios producidos en las últimas décadas y de su propia experiencia, ¿cómo prevé que será el desempeño profesional en el nuevo siglo?

Todos somos conscientes que el avance de la tecnología es de carácter exponencial en todo campo, ante ello corresponde a las casas superiores de estudio, al estudiante y al profesional tratar de ir a la par de ese avance; para ello la constante actualización y capacitación en lo tecnológico, marcaran la vigencia del profesional en lo futuro que tiene hoy por hoy a la internet como un gran aliado.