

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“PROYECTO DE AMPLIACION DE ENERGIA PARA UNA
COMPANIA DE FIBRAS SINTETICAS”.**

**INFORME DE INGENIERIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

RICARDO ESPER SALCEDO CHAHUD

PROMOCION 1987-I

LIMA - PERU

2002

**PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE ENERGIA PARA UNA COMPAÑÍA DE FIBRAS
SINTETICAS**

A mis Padres

| | INDICE |
|---|---------------|
| PRÓLOGO | 1 |
| CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 Descripción del proyecto | 2 |
| 1.2 fundamentos para el desarrollo del proyecto | 3 |
| CAPITULO 2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL | 5 |
| 2.1 Proceso productivo | 5 |
| 2.2 Necesidades de vapor | 6 |
| 2.3 Necesidades de energía eléctrica | 7 |
| 2.4 Descripción de la planta de energía | 8 |
| 2.5 Balance de energía | 15 |
| CAPITULO 3.- REQUERIMIENTOS POR AUMENTO DE PRODUCCIÓN | 17 |
| CAPITULO 4.- PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL PROYECTO | 20 |
| 4.1 Cálculos | 20 |
| 4.2 Conclusiones sobre la selección de parámetros | 23 |
| 4.3 Posibles Configuraciones De Equipos | 29 |
| 4.3.1 Cálculos Para Un Ciclo de cogeneración con extracción | 29 |
| 4.3.2 Resumen de equipos presentados por diversos fabricantes | 32 |
| 4.3.3 Análisis económico de las configuraciones presentadas | 34 |
| 4.4 Selección de equipos | 36 |
| CAPITULO 5.- DESARROLLO DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN | 37 |

| | |
|--|------------|
| 5.1 Consideraciones generales | 37 |
| 5.2 Etapas de desarrollo de la implementación | 37 |
| 5.3 Consideraciones para el desarrollo del nuevo sistema | 39 |
| 5.4 Desarrollo de cada parte del sistema | 45 |
| 5.4.1 Ubicación y especificaciones de cimentación de calderas | 45 |
| 5.4.2 Sistema de agua de alimentación | 51 |
| 5.4.3 Tuberías desde nueva caldera hasta el nuevo cabezal de alta presión | 53 |
| 5.4.4 Sistema de purgas y condensados | 71 |
| 5.4.5 Nuevo cabezal de alta presión | 76 |
| 5.4.6 Especificación del nuevo puente de tuberías | 86 |
| 5.4.7 Ubicación y especificaciones de la cimentación de las nuevas Turbinas y de su casa de maquinas | 95 |
| 5.4.8 Distribución desde el cabezal de alta y nuevo cabezal de distribución para proceso. | 97 |
| 5.4.9 Diseño de las placas orificio para la medición de caudal. | 119 |
| 5.4.10 Aislamientos térmicos. | 119 |
| CAPITULO 6.- COSTOS ESTIMADOS DEL PROYECTO | 122 |
| CONCLUSIONES | 131 |
| BIBLIOGRAFÍA | 134 |
| ANEXO 1.- Cálculo térmico del ciclo de vapor. | |
| ANEXO 2. Estimación de una turbina a vapor con extracción automática. | |
| ANEXO 3.- Cálculos del análisis económico de las alternativas presentadas. | |
| ANEXO 4.- Especificaciones y lista de materiales del suministro de la caldera. | |

- ANEXO 5.- Alcance del suministro de la turbina.
- ANEXO 6.- Dimensiones de la caldera nueva y equipos auxiliares.
- ANEXO 7.- Plano de cimentaciones.
- ANEXO 8.- Cálculo del espesor de tuberías.
- ANEXO 9.- Selección de la válvula reductora de presión.
- ANEXO 10.- Estimación de la capacidad de la válvula atemperadora.
- ANEXO 11.- Cálculo de refuerzos del cabezal de alta.
- ANEXO 12.- Dimensiones de las nuevas turbinas y especificaciones de cimentación de las mismas.
- ANEXO 13.- Procedimiento de cálculo de placas orificio para la medición de caudal según la norma AFNOR.
- ANEXO 14.- Cálculo de pérdida de presión por fricción en las tuberías de distribución de vapor de 45, 15 y 5 bar.
- ANEXO 15.- Especificaciones y espesores recomendados para aislamientos térmicos.

PRÓLOGO

Este proyecto representa la labor del ingeniero al aplicar la ciencia a la vida diaria con el propósito permanente de lograr procesos eficientes, confiables, seguros y económicamente convenientes, resaltando el significado de la frase "Lo perfecto es enemigo de lo bueno". Por otro lado, también pone de manifiesto el requisito de criterio con sentido común que debe tener el ingeniero para diseñar, señalar procedimientos y proponer planes que no siempre están definidos y pueden ser aplicables. El trabajo realizado es largo y aparentemente sencillo, por que no se están proponiendo diseños revolucionarios o nuevas técnicas; lo valioso es el criterio con que se han definido los lineamientos para el desarrollo del proyecto. Este criterio ha surgido de la colaboración de los equipos de ingeniería participantes y de la experiencia de los ingenieros y operadores.

El proyecto ha sido elaborado por GCZ Ingenieros S.A. (GCZ) por encargo de Sudamericana de Fibras S.A (SdF). El rubro de GCZ es la consultoría, fabricación y suministro de equipos para el sector energético y SdF fábrica fibras textiles sintéticas.

La fábrica de fibras cuenta con una planta de energía que produce el vapor que necesita y además cogenera electricidad mediante turbinas a vapor. El origen del proyecto es el aumento de la necesidad de vapor, resultante del incremento en la producción de fibra.

Personalmente, mi responsabilidad como integrante de GCZ ha sido el cálculo de los procesos teóricos de expansión y de las evaluaciones económicas; posteriormente, después de elegida la mejor alternativa mi labor consistió en el diseño y cálculo del sistema de distribución del vapor desde los nuevos equipos al punto de entrega al sistema existente.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar la ingeniería del proyecto de ampliación para la mejor alternativa técnico económica. El proyecto comprende dos etapas. La primera es un análisis de diversas configuraciones de ampliación de la planta de energía, cuyo alcance es proporcionar las especificaciones técnicas de los equipos a instalarse. La segunda etapa es el desarrollo de la ingeniería para la ampliación. En los tres primeros capítulos se describe la planta de fibras y sus necesidades actuales y futuras; El 4º capítulo se ocupa de la selección de los parámetros de generación de vapor para la ampliación. En el 5º capítulo se expone el diseño del sistema de tuberías de distribución de vapor y, finalmente en el 6º capítulo rehace un estimado de los costos del proyecto.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El planteamiento inicial del proyecto fue propuesto por SdF con el objetivo de cubrir los requerimientos de vapor y tratar de cogenerar la mayor cantidad de energía eléctrica usando solo vapor de proceso. con las siguientes alternativas:

| | | ALT. 1 | ALT. 2 | ALT. 3 |
|---------|-----|--------|--------|--------|
| PRESION | bar | 30 | 45 | 60 |
| TEMP. | °C | 325 | 420 | 450 |

Después de realizada la estimación preliminar se hizo un análisis más detallado con diversas configuraciones de los equipos, incluyendo en lo posible el uso de las turbinas y generadores existentes.

La Fábrica decidió implementar la alternativa 2, invitando a diversos proveedores a ofertar los equipos para realizar una evaluación técnico económica. Concluyendo esta evaluación, se procedió a la compra de los equipos.

La segunda etapa de este trabajo consistió en la elaboración de la ingeniería de la ampliación de la planta, considerando las características técnicas de los equipos adquiridos, las características de la planta existente y las condiciones requeridas por el proceso en cuanto a parámetros de vapor, parámetros de energía eléctrica, disponibilidad y seguridad del suministro energético y se llevo a cabo casi en paralelo con la implementación e instalación de los equipos.

1.2 FUNDAMENTOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Las consideraciones fundamentales para el desarrollo del proyecto han sido la satisfacción de la necesidad de vapor generada por el aumento de producción manteniendo la confiabilidad y seguridad del suministro y la eficiencia técnico-económica en el uso de la energía que se consigue con el uso de la cogeneración de electricidad con el vapor de proceso.

En cuanto a la cogeneración, su conveniencia radica en que el vapor es parte de un proceso productivo y solo se requiere aumentar su presión y temperatura para hacerlo adecuado para un ciclo Rankine, con un gasto

adicional de combustible que es muy pequeño comparado con el necesario para la evaporación.

Por otro lado, a mayor cantidad de vapor las calderas son relativamente menos costosas generando a mayores presiones y/o temperaturas.

El proceso productivo requiere vapor a diversas condiciones, lo que lleva a varias alternativas de parámetros de generación de vapor y a diversas configuraciones de equipos para la cogeneración, es decir, turbinas de vapor a contrapresión y/o turbinas de vapor con extracciones.

Adicionalmente, el proceso productivo requiere una elevada confiabilidad y alta seguridad en los suministros de vapor y electricidad lo que influye en la calidad de los equipos y en la configuración los sistemas obligándolos a tener fuerte respaldo en caso de emergencia.

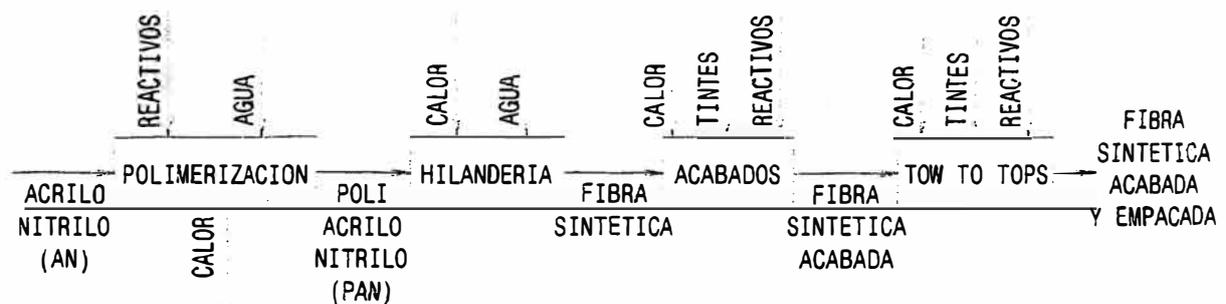
CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

La fabrica produce fibras textiles sintéticas para el mercado nacional y para la exportación con tecnología adquirida de Bayer Industrial. El producto tenía el nombre comercial de Dralón® cuando era producido por Bayer.

2.1 EL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo se resume en el siguiente esquema:



Durante la mayor parte del proceso, el material debe mantenerse a una temperatura de licuefacción, sobre todo en hilandería que es donde se da la forma a la fibra. La detención no prevista del proceso en alguna de estas secciones detiene la producción produciendo el deterioro permanente de los equipos y del lote del producto, con importantes perjuicios

económicos causados por la pérdida de material, y en mayor medida al dejar de entregar el producto al mercado.

La configuración de la planta es por líneas modulares. Cada línea desarrolla el proceso de principio a fin. En la actualidad, la configuración es de tres líneas de 11,000 TM / AÑO cada una, totalizando 33,000 TM / AÑO y la planta tiene capacidad para 9 líneas. En caso de desear incrementar la producción, se puede agregar mas líneas y también se puede incrementar la capacidad de las mismas hasta 12,000 TM / AÑO.

2.2 NECESIDADES DE VAPOR

El vapor interviene en todas las etapas del proceso productivo, principalmente como fuente de calor, que en algunos casos se necesita para mantener la temperatura de licuefacción de la materia prima y en otros como participante en los procesos reactivos.

Cada etapa del proceso requiere vapor en diferentes estados:

- Vapor de alta presión: 30 bar y 325°C
- Vapor de media presión: 15 bar y 230°C
- Vapor de baja presión: 5 bar y 175°C

Los condensados de todas las secciones son recuperados y enviados al tanque desgasificador de la planta de energía. El porcentaje de recuperación alcanza el 83% aproximadamente y la temperatura promedio al llegar al tanque es de 100°C. Además del vapor, el proceso productivo requiere agua de elevada calidad, muy superior a la requerida por las calderas, y es obtenida de pozos existentes en la misma planta y tratada en sendas unidades de tratamiento, ubicadas también en el mismo local. El

agua de recuperación representa una pequeña parte de toda el agua que se necesita para la fábrica. En el cuadro N° 2.1 se muestra el requerimiento de cada sección del proceso productivo.

| Cuadro N° 2.1 - REQUERIMIENTOS DE VAPOR (TM/hr) | | | |
|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| VAPOR | 5 bar y 175°C | 15 bar y 230°C | 30 bar y 325°C |
| Polimerización | 8.50 | 1.61 | 0.00 |
| Hilandería | 11.54 | 10.03 | 2.00 |
| Acabados y TOW to TOP | 6.11 | 4.36 | 0.00 |
| TOTAL | 26.15 | 16.00 | 2.00 |
| PRODUCCION DE LA PLANTA DE ENERGIA | | | |
| VAPOR a 30 bar y 325°C | | | 44.15 |

Podemos observar que el requerimiento total de vapor es de aproximadamente 44TM / hr, y puesto que el consumo de vapor es prácticamente proporcional al volumen de producción, podemos decir que el consumo específico de vapor de la fabrica es aproximadamente:

$$44.15 / 33,000 = 1.338 \text{ TM/hr por cada TM de producción anual.}$$

| Cuadro N° 2.2 - Resumen Del Balance De Vapor (TM/hr) | | |
|---|--------------|--------------|
| | ENTRA | SALE |
| PLANTA DE ENERGIA | | |
| Condensados | 36.71 | |
| Reposición | 7.44 | |
| Generación de vapor | | 44.15 |
| TOTAL | 44.15 | 44.15 |
| PROCESO PRODUCTIVO | | |
| Vapor a 5 bar y 175°C | 26.15 | |
| Vapor a 15 bar y 230°C | 16.00 | |
| Vapor a 30 bar y 325°C | 2.00 | |
| Condensados | | 36.71 |
| Pérdidas | | 7.44 |
| TOTAL | 44.15 | 44.15 |

2.3 NECESIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica se utiliza en todas las etapas del proceso productivo, ya sea como potencia o como calor (resistencias eléctricas).

El cuadro N° 2.4 indica los requerimientos eléctricos de cada sección.

| Cuadro N° 2.4 – Requerimientos De Electricidad (kW) | |
|--|-----------------|
| PLANTA DE ENERGIA | |
| Precalentamiento del grupo electrógeno | 89.05 |
| Servicios auxiliares para las calderas | 531.02 |
| Compresores de aire para proceso | 870.50 |
| SUBTOTAL | 1,490.57 |
| PRODUCCIÓN | |
| Polimerización | 980.00 |
| Hilandería | 789.00 |
| Acabados | 981.00 |
| TOW to TOP | 284.00 |
| SUBTOTAL | 3,034.00 |
| TOTAL INSTALADO | 4,524.57 |
| Factor de simultaneidad | 92.83% |
| MAXIMA DEMANDA | 4,200.00 |

La electricidad requerida es directamente proporcional al nivel de producción, por lo tanto, la demanda eléctrica específica es:

$$4,200/33,000 = 127.27 \text{ kW por cada mil toneladas anuales de fibra.}$$

En el cuadro N° 2.5 muestra la distribución del suministro de energía eléctrica de la planta:

| Cuadro N° 2.5 - Suministro De Electricidad (kW) | |
|--|-----------------|
| Cogeneración (turbina N° 3) | 2,000.00 |
| Electrolima | 2,200.00 |
| TOTAL | 4,200.00 |

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE ENERGÍA

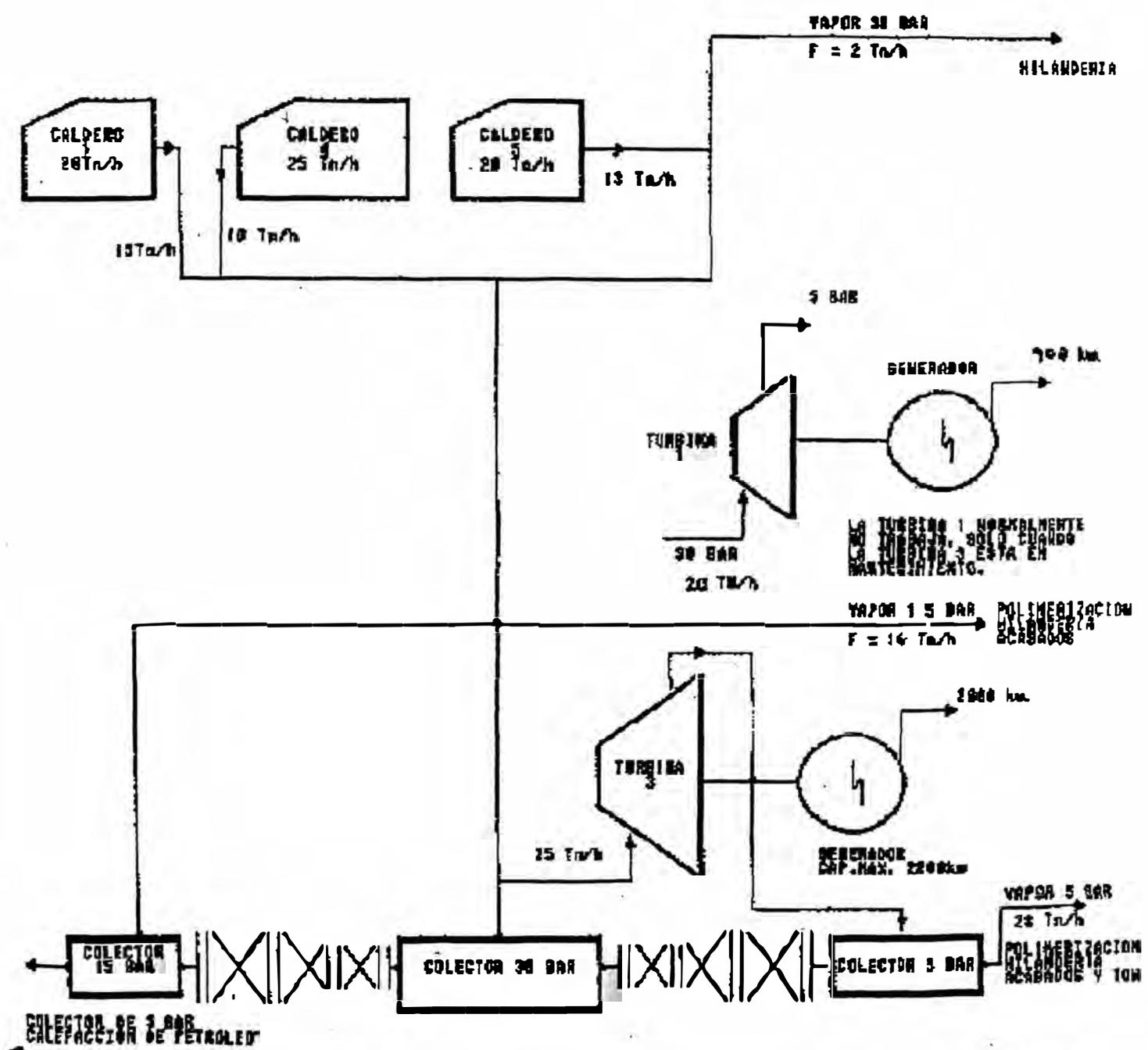
La planta de energía es la encargada de producir el vapor requerido por el proceso productivo. Adicionalmente, produce energía eléctrica por cogeneración; en la figura 2.1 (Esquema funcional), podemos observar que las tres calderas existentes alimentan al cabezal de 30 bar que esta

conectado con los cabezales de 15 y 5 bar mediante sendas válvulas reductoras de presión, formando así un gran cabezal de distribución de vapor en donde se concentra todo el vapor producido en la planta de energía y se distribuye al resto de la fabrica.

De la misma tubería que alimenta el cabezal de 30 bar se alimenta a una turbina que expande el vapor hasta 5 bar, con una capacidad máxima de 2200 kW, para entregar el vapor saliente al cabezal de respectivo. también podemos observar la existencia de una turbina de respaldo de 900 kW, que opera cuando la mayor esta en mantenimiento.

Figura 2.1 Esquema funcional de la planta de energía

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR



REQUERIMIENTOS DE PLANTA : PRODUCCION DE 44-48 Tm/h, PROCESO CON PRODUCCION CONTINUA (CONSIDERAR MANTENIMIENTO DE LOS CALDEROS),
 PRODUCCION DE ELECTRICIDAD : 1000-1200 KW, APROVECHANDO SALTOS TERMICOS DE 30 BAR A 15 BAR Y 30 BAR A 5 BAR

El cuadro N° 2.6 nos indica las características principales de los equipos de la planta de energía.

| CUADRO N° 2.6 - Relación De Equipos En Uso | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------|-------|-------|-------------------|-----------|---------|------|
| CALDERAS | | | | | | | | |
| Nro. | MARCA | PRESION | TEMP. | CAP. | COMBUSTIBLE | | AÑO | |
| | | bar | °C | TM/hr | | | | |
| 1 | DISTRAL | 29.5 | 325 | 20 | INDUSTRIAL N°5 | | 1981 | |
| 4 | DISTRAL | 29.5 | 325 | 25 | INDUSTRIAL N°5 | | 1985 | |
| 5 | DISTRAL | 29.5 | 325 | 20 | INDUSTRIAL N°5 | | 1981 | |
| TURBINAS A VAPOR | | | | | | | | |
| Nro. | MARCA | PRESION | TEMP. | CAP. | PRESION DE SALIDA | POT. NOM. | TENSION | AÑO |
| | | bar | °C | TM/hr | bar | | V | |
| 3 | AEG/KANIS-G16 | 30 | 325 | 25 | 5 | 2000 | 10500 | 1981 |
| 1 | AEG/KANIS-GT405 | 30 | 325 | 20 | 5 | 745 | 10500 | 1971 |

Se observa que la capacidad instalada de las calderas supera en un 50% al requerimiento actual de vapor. La razón es la de disponer del 100% del requerimiento de vapor en caso de falla de uno cualquiera de los equipos.

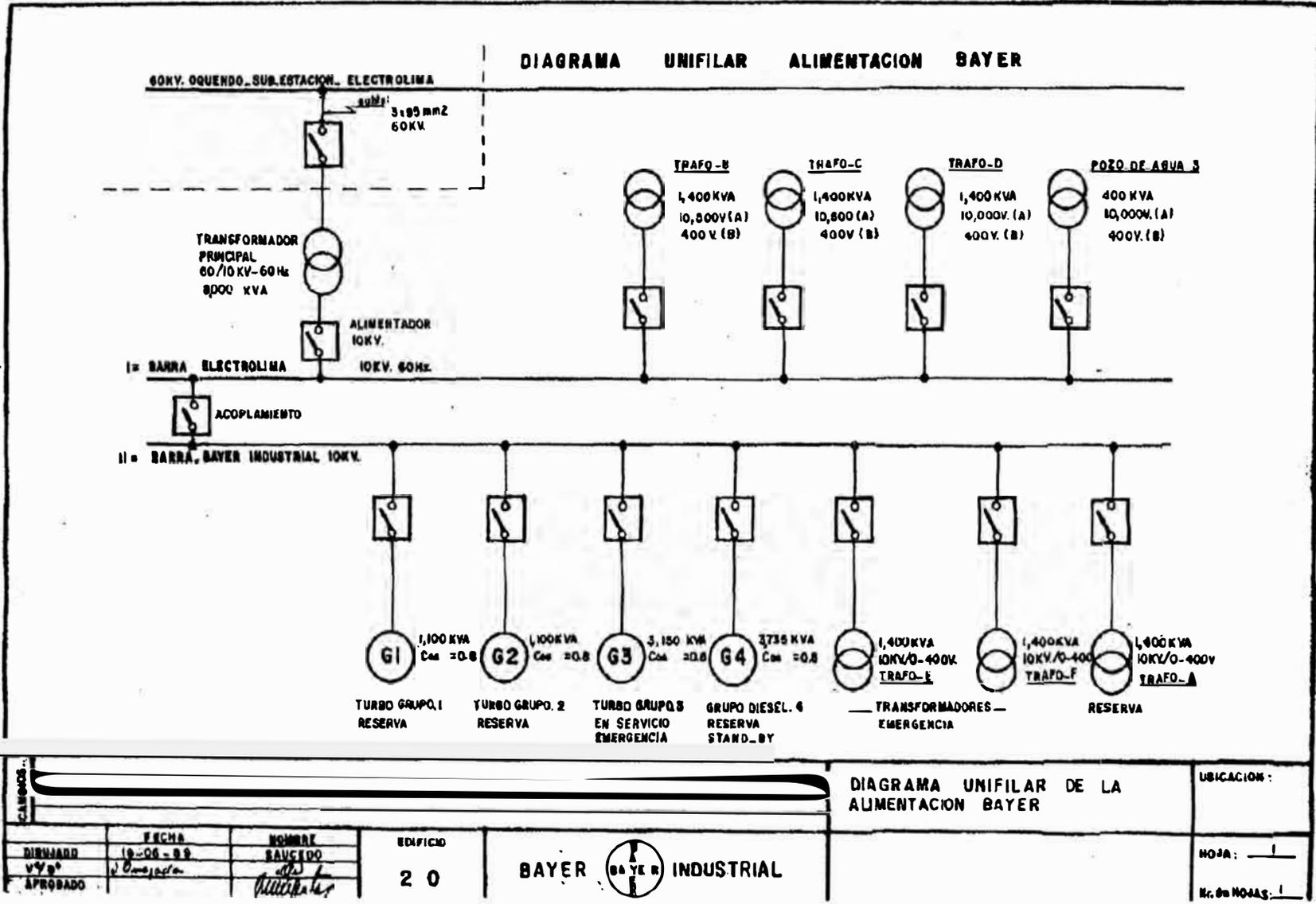
La figura 2.2 es el diagrama unifilar del suministro eléctrico de la planta, donde podemos observar la disposición de dos barras alimentadoras principales, que se interconectan entre sí y que alimentan a diferentes cargas de acuerdo a una prioridad en el suministro. La figura 2.3 es el unifilar de alimentación de cargas desde las barras principales de suministro.

El suministro eléctrico proviene de tres fuentes diferentes: la turbina a vapor AEG KANIS (la N° 3) de 2200 kW que trabaja con vapor de 30 bar y 325°C bajándolo a 5 bar para entregarlo al proceso productivo; luego Electrolima y por último del grupo Deutz en caso de emergencia. Además

de la turbina N°3, existe otra turbina AEG KANIS de 745kW (la N°1), que funciona cuando la N°3 esta en mantenimiento. Por último, también cuenta con una turbina a gas de 75 kW, que ha caído en desuso con la entrada del grupo electrógeno diesel Deutz de 3150kW, qe siempre está precalentado y con arranque con aire comprimido, listo para generar en cualquier instante.

En la figura 2.4 se puede ver la disposición en planta de la planta de energía.

Figura 2.2 - Diagrama unifilar del suministro eléctrico de la planta.



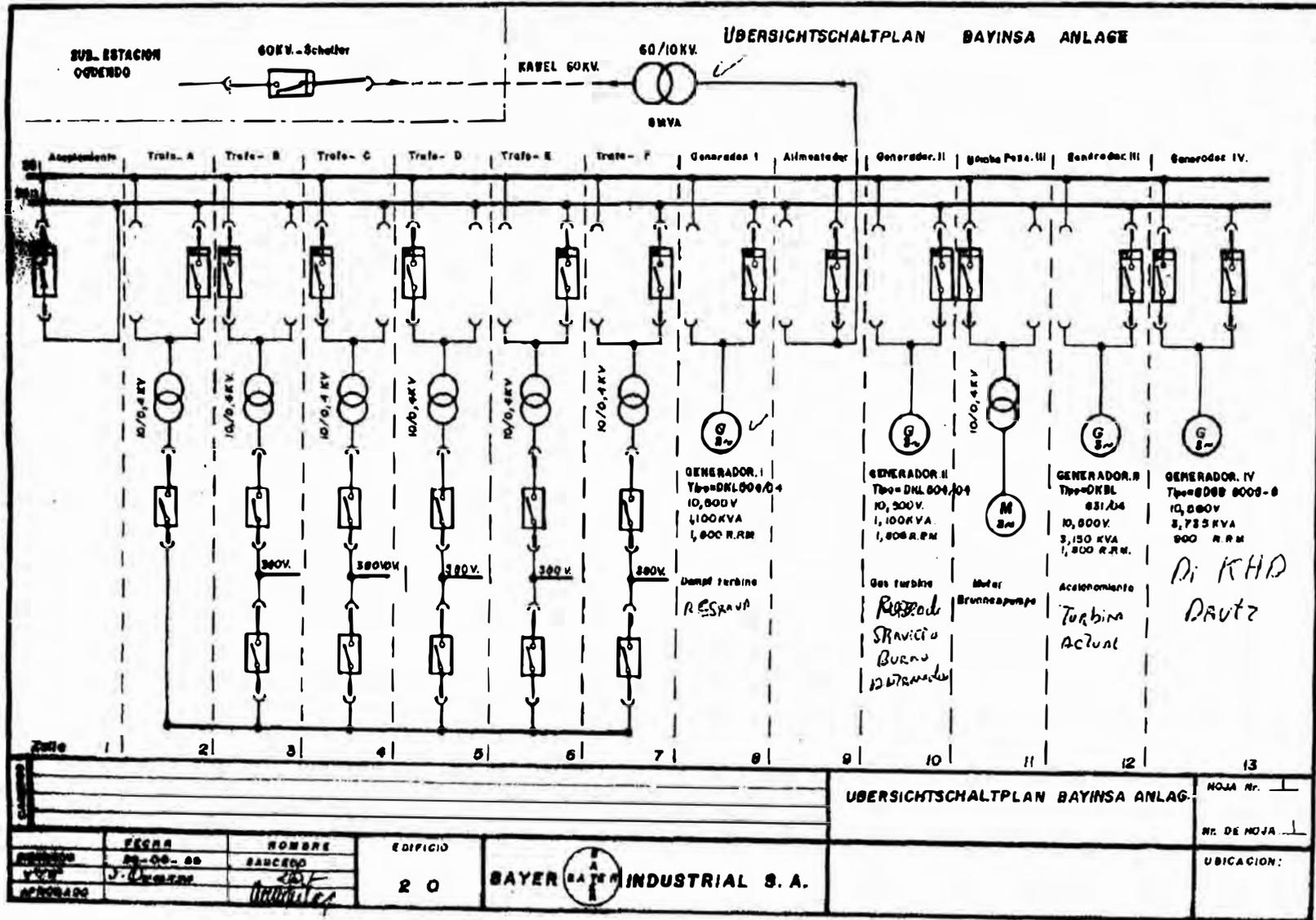


Figura 2.3 Diagrama unifilar de alimentación de cargas desde las barras principales

2.5 RESUMEN DEL BALANCE DE ENERGÍA

El cuadro 2.7 presenta resumen del balance de energía. La primera muestra los parámetros térmicos correspondientes a cada elemento que interviene en el balance.

La segunda parte tiene el balance total en la planta de energía, que arroja un valor de eficiencia de planta del 84.55%; en esta eficiencia están incluidas las pérdidas del caldero y en la turbina.

Posterior al balance de la planta se observa el balance de la caldera, que arroja una eficiencia de 87 %, que es un valor promedio, coherente con la medición directa de la eficiencia realizada por el personal de La Empresa.

Luego puede verse el balance en cada una de las secciones del proceso, siendo hilandería la que tiene el mayor consumo.

| Cuadro N° 2.7 – Resumen Balance De Energia | | | |
|--|--------------|-----------------|-----------------|
| Parámetros Para El Calculo Del Balance | | | |
| Combustible R5 | | | |
| Consumo De R5 | | 3,235.28 | Kg/Hr |
| Poder Calorífico Del R5 | | 43,312.00 | Kj/Kg |
| Vapor A 5 Bar, 175°C | | 2,739.01 | Kj/Kg |
| Vapor A 15 Bar, 230°C | | 2,868.87 | Kj/Kg |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | | 3,050.82 | Kj/Kg |
| Condensados 1 Bar, 90°C | | 376.92 | Kj/Kg |
| Reposición 1 Bar, 25°C | | 104.89 | Kj/Kg |
| PLANTA DE ENERGIA | VAPOR | ENTRA | SALE |
| | TM/HR | KJ/S | KJ/S |
| Combustible R5 | | 38,923.98 | |
| Condensados 1 Bar, 90°C | | 3,843.54 | |
| Reposición 1 Bar, 25°C | | 216.77 | |
| Vapor A 5 Bar, 175°C | 26.15 | | 19,895.86 |
| Vapor A 15 Bar, 230°C | 16.00 | | 12,750.53 |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | 2.00 | | 1,694.90 |
| Energia Eléctrica | | | 2,000.00 |
| PERDIDAS (Incluyendo Calderos y Turbina) | | | 6,642.99 |
| Total | | 42,984.29 | 42,984.29 |
| Eficiencia De La Planta De Energia | | | 84.55% |
| PROCESO | | | |
| Calderas | | | |
| Combustible R5 | | 38,923.98 | |
| Condensados 1 Bar, 90°C | | 3,843.54 | |
| Reposición 1 Bar, 25°C | | 216.77 | |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | 44.15 | | 37,414.92 |
| PERDIDAS (Incluyendo Calderos y Turbina) | | | 5,569.37 |
| Total | | 42,984.29 | 42,984.29 |
| Eficiencia Promedio De Calderas | | | 87.04% |
| POLIMERIZACION | | | |
| Vapor A 5 Bar, 175°C | 8.50 | 6,467.11 | |
| Vapor A 15 Bar, 230°C | 1.61 | 1,283.02 | |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | 0.00 | 0.00 | |
| Condensados 1 Bar, 90°C | 10.10 | | 1,057.47 |
| Uso En El Proceso + Perdidas | | | 6,692.66 |
| Total | | 7,750.13 | 7,750.13 |
| HILANDERIA | | | |
| Vapor A 5 Bar, 175°C | 11.54 | 8,780.05 | |
| Vapor A 15 Bar, 230°C | 10.03 | 7,992.99 | |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | 2.00 | 1,694.90 | |
| Condensados 1 Bar, 90°C | 17.15 | | 1,795.61 |
| Uso En El Proceso + Perdidas | | | 16,672.33 |
| Total | | 18,467.94 | 18,467.94 |
| ACABADOS Y TOW TO TOPS | | | |
| Vapor A 5 Bar, 175°C | 6.11 | 4,648.71 | |
| Vapor A 15 Bar, 230°C | 4.36 | 3,474.52 | |
| Vapor A 30 Bar, 325°C | 0.00 | 0.00 | |
| Condensados 1 Bar, 90°C | 9.46 | | 990.46 |
| Uso En El Proceso + Perdidas | | | 7,132.77 |
| TOTAL | | 8,123.23 | 8,123.23 |

CAPITULO III

REQUERIMIENTOS POR AUMENTO DE PRODUCCION

Debido a las condiciones favorables del mercado, La Empresa vio la necesidad de incrementar su producción.

La fábrica esta prevista para ampliaciones modulares con líneas de 11,000 o 12,000 TM / AÑO cada una. El aumento en la producción de fibra requiere un incremento directamente proporcional de vapor y de energía eléctrica. En el cuadro 3.1 se resume las posibles configuraciones de crecimiento, planteadas por La Empresa.

Para las demandas de vapor y electricidad se han considerando los índices obtenidos en los cuadros 2.1 y 2.4

| CASO | NUMERO DE MODULOS | PRODUCCIÓN TM / AÑO | VAPOR GENERADO TM / HR | DEMANDA kW |
|------|-------------------|---------------------|------------------------|------------|
| 1 | 3 x 11,000 | 33,000 | 44 | 4,200 |
| 2 | 3 x 12,000 | 36,000 | 48 | 4,400 |
| 3 | 4 x 12,000 | 48,000 | 64 | 5,150 |
| 4 | 5 x 12,000 | 60,000 | 80 | 7,500 |
| 5 | 6 x 12,000 | 72,000 | 96 | 8,800 |

Cuadro 3.1.- Configuraciones de ampliación posibles

La empresa realizó estudios de mercado, proyectando su comportamiento a mediano plazo y como conclusión decidió implementar el caso 2 en una primera etapa de crecimiento y llegar al caso 5 en una segunda etapa. La razón de este crecimiento por etapas es permitir la adecuación gradual de la infraestructura existente a las nuevas características de planta de energía.

Las paradas imprevistas de producción pueden causar graves daños en las líneas de producción y elevados perjuicios económicos que obligan a tener un alto nivel de seguridad en los suministros. Siendo así, en cada etapa de crecimiento se deberá tener una capacidad instalada de producción de vapor de 50% en exceso, es decir, para el caso 2 se requiere una capacidad instalada de 72 TM/hr de vapor en el momento en que se ejecute y, para el caso 5, 144 TM/hr.

Como la fábrica fue concebida desde el principio para tener hasta 9 líneas de producción, las instalaciones eléctricas de fuerza como interruptores de potencia y barras de distribución han sido previstas para el máximo crecimiento, permitiendo una conexión y entrada en operación inmediata de nuevos equipos eléctricos.

Se concluyó que la ampliación de las líneas de producción se haría en dos etapas para las cuales se requiere de la planta de energía las capacidades mostradas en el cuadro siguiente; En el cuadro 3.2 se presentan los requerimientos de la nueva configuración en cuanto a vapor para el proceso.

| ETAPA | VAPOR TM/hr | CAPACIDAD TM/hr | POTENCIA kW |
|--------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 | 48 | 72 | 4,400 |
| 2 | 96 | 144 | 8,800 |

| Cuadro 3.3 - RESUMEN BALANCE DE VAPOR PARA AMPLIACION (TM/hr) | | | | |
|--|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | ETAPA 1 | | ETAPA 2 | |
| | ENTRA | SALE | ENTRA | SALE |
| PLANTA DE ENERGIA | | | | |
| Condensados | 39.91 | | 79.82 | |
| Reposición | 8.09 | | 16.18 | |
| Producción | | 48 | | 96.00 |
| TOTAL | 48.00 | 48.00 | 96.00 | 96.00 |
| PRODUCCION | | | | |
| Vapor a 5 bar y 175°C | 28.43 | | 56.86 | |
| Vapor a 15 bar y 230°C | 17.40 | | 34.79 | |
| Vapor a 30 bar y 325°C | 2.17 | | 4.35 | |
| Condensados | | 39.91 | | 79.82 |
| Pérdidas | | 8.09 | | 16.18 |
| TOTAL | 48.00 | 48.00 | 96.00 | 96.00 |

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN DE VAPOR

En la descripción del proyecto se mencionó que se consideraron tres alternativas para los parámetros de generación de vapor para la ampliación:

- a) Ampliación de la producción de vapor con 30 bar y 300°C
- b) Ampliación de la producción de vapor con 45 bar y 420°C
- c) Ampliación de la producción de vapor con 60 bar y 450°C

La alternativa a) corresponde a una ampliación en la capacidad de producción de vapor con la misma presión y temperatura de la planta existente, y es tomada como referencia para las otras alternativas

4.1. CÁLCULOS

En el anexo 1 se exponen los detalles teóricos de los cálculos; a continuación se muestran los resultados de la alternativa b. Los resultados para las alternativas a) y c) se presentan en el anexo 1.

El cuadro 4.2.B presenta el calculo térmico. En la primera parte se tiene los parámetros y cantidades de vapor según la etapa de desarrollo; la segunda parte tiene la propiedades térmicas del vapor en los diferentes estados en que incurre durante el proceso térmico; la tercera parte es el cálculo térmico propiamente dicho, realizado según lo descrito en el anexo N°1, llegando a determinarse la potencia eléctrica generada por los ciclos en

la expansión desde la presión alta hasta los 15 bar y la expansión de la presión alta hasta los 5 bar. En el cuadro 4.1 están las eficiencias de expansión, las cuales han sido tomadas de la fig.5-15 del "Energy Cogeneration Handbook" – George Polimeros, Eficiencia básica para turbinas multietapa a contrapresión.

| PRES. bar | POTENCIA Kw | EFICIENCIA BASICA % |
|--------------|----------------|------------------------|
| 30 | 400 | 54.3 |
| 30 | 1800 | 69.1 |
| 45 | 800 | 58.2 |
| 45 | 2500 | 68.5 |
| 60 | 1000 | 58.7 |
| 60 | 3000 | 68.4 |

Cuadro 4.1.- Eficiencia, turbinas multietapa, contrapresión

Se han asumido la eficiencia de la caldera en 95% y del alternador en 96%.

EL cuadro 4.3.B nos muestra en su primera parte los cálculos de los calores, consumo de combustible, potencias eléctricas totales producidas y requeridas, energía producida por el ciclo y energía requerida por el proceso productivo. En la segunda parte se tienen los precios estimados para el petróleo, energía eléctrica y equipos a instalar para las tres alternativas, con la finalidad de poder realizar una comparación técnico económica. Estos precios fueron obtenidos por encuestas directas a los proveedores de combustible y electricidad y a diversos fabricantes de equipos.

También se muestra el gasto anual en combustible, el cual ha sido desdoblado en "combustible equivalente para producir el vapor de proceso" y "combustible equivalente al adicional para la cogeneración". El combustible equivalente para producir el vapor de proceso es el necesario para obtener vapor en las cantidades y condiciones para el uso directo en el proceso, a

partir del condensado existente. Esto se hace con la finalidad de estimar el costo del vapor estrictamente necesario para la producción y el costo del adicional para producir la electricidad.

El cuadro 4.4.B expone la evaluación económica, para lo cual se consideró una vida útil de 20 años y un costo de oportunidad de 10%, el cual es similar a la tasa de interés de los bancos, vigente a la fecha del estudio. Esta conformado de la siguiente manera:

La primera columna tiene los años de vida útil del proyecto.

La segunda columna tiene la inversión total a realizarse a través de los años.

La tercera columna muestra el costo de operación estimado en base a los gastos reales que ha tenido la empresa durante la operación de su planta de energía.

La cuarta columna muestra el gasto en combustible adicional para cogenerar la electricidad año a año. La inversión, gastos de operación y gastos de combustible son considerados como egresos para el cálculo del flujo de caja.

La quinta columna tiene los ingresos por electricidad producida. Hemos considerado la totalidad de la energía producida como ingreso puesto que forma parte del proceso productivo y si no fuese obtenido en la cogeneración tendría que ser comprado.

La sexta columna nos muestra el flujo de caja anual, que viene a ser los ingresos menos los egresos.

La séptima columna tiene el flujo acumulado de caja que sirve para determinar el momento en que el proyecto empieza a generar ingresos.

La octava columna es el valor actual del flujo de caja anual (valores futuros traídos hasta el año cero a una tasa igual al costo de oportunidad)

La última columna tiene el valor actual acumulado del valor presente del flujo de caja anual. El valor acumulado del último año es el valor actual neto del proyecto.

Finalmente, las dos últimas filas del cuadro de flujo de caja nos indican el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) de cada alternativa.

4.2. CONCLUSIONES SOBRE LA SELECCIÓN DE PARAMETROS

El cuadro 4.5 resume los resultados más importantes de los cálculos. Observamos que la alternativa b es la más conveniente según la evaluación económica, con el VAN y el TIR más alto que las otras alternativas y también desde el punto de vista de realización del proyecto, puesto que, existen otros proyectos con características similares desarrollados en nuestro medio con resultados positivos. No se encontró otros proyectos con presiones de generación superiores a 60 bar.

Con respecto a las eficiencias básicas de las turbinas, observamos que a mayor potencia mejora la eficiencia (ver cuadro 4.1), lo cual nos sugiere que podría ser aún más conveniente desarrollar el proyecto completo con una sola turbina del doble de potencia y no en dos etapas como se ha calculado; sin embargo, esto implicaría un monto de inversión mucho más alto desde el principio, lo que resulta inconveniente para la

empresa, además de que la confiabilidad del sistema disminuye al apoyarse en un solo equipo y no en dos.

| CUADRO N° 4.2.B.- CALCULOS ALTERNATIVA b) | | | |
|---|--------|----------------|---------------|
| | | ETAPA 1 | ETAPA2 |
| ESTADO DEL VAPOR GENERADO Y CONSUMIDO | | | |
| PRESION DE GENERACION | bar | 45.00 | 45.00 |
| TEMPERATURA DE GENERACION | °C | 420.00 | 420.00 |
| VAPOR PRODUCIDO | kg/hr | 48,000.00 | 96,000.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 30 bar Y 325 °C | kg/hr | 2,170.00 | 4,340.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 15 bar Y 230 °C | kg/hr | 17,400.00 | 34,800.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 5 bar Y 175 °C. | kg/hr | 28,430.00 | 56,860.00 |
| TEMPERATURA DE CONDENSADOS | °C | 100.00 | 100.00 |
| PROPIEDADES TERMICAS | | | |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 45 bar Y 420 °C | kJ/kg | 3,250.49 | 3,250.49 |
| ENTROPIA DEL VAPOR A 45 bar Y 420 °C | kJ/kg° | 6.7611 | 6.7611 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,967.31 | 2,967.31 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,757.30 | 2,757.30 |
| ENTALPIA DE LOS CONDENSADOS | kJ/kg | 419.04 | 419.04 |
| CALCULO TERMICO DEL CICLO DE VAPOR | | | |
| EFICIENCIA DE LA CALDERA | % | 95.00 | 95.00 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 15 bar | % | 56.59 | 56.59 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 5 bar | % | 65.31 | 65.31 |
| EFICIENCIA DEL ALTERNADOR | % | 95.55 | 95.55 |
| FACTOR DE CARGA | % | 80.00 | 80.00 |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 45 bar A 15 bar | kJ/kg | 283.18 | 283.18 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 45 bar A 15 bar | kJ/kg | 160.25 | 160.25 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 3,090.24 | 3,090.24 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 45 bar A 15 bar | kW | 740.04 | 1,480.09 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | °C | 295.25 | 295.25 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 45 bar A 5 bar | kJ/kg | 493.19 | 493.19 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 45 bar A 5 bar | kJ/kg | 322.10 | 322.10 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 2,928.39 | 2,928.39 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 45 bar A 5 bar | kW | 2,430.39 | 4,860.78 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 5 bar | °C | 202.73 | 202.73 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |

| CUADRO N° 4.3.B.- CALOR, POTENCIA, ENERGIA ELECTRICA, PRECIOS ALTERNATIVA b) | | | |
|---|----------|-------------|-------------|
| CALOR, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y ENERGIA | | | |
| CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA POR EL GENERADOR DE VAPOR | kJ/hr | 156,023,520 | 312,047,040 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA CON LOS CONDENSADOS | kJ/hr | 20,113,920 | 40,227,840 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA POR EL COMBUSTIBLE | kJ/hr | 135,909,600 | 271,819,200 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 15 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 46,478,853 | 92,957,706 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 5 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 71,340,753 | 142,681,505 |
| TOTAL CANTIDAD DE CALOR PARA VAPOR DE PROCESO | kJ/hr | 117,819,605 | 235,639,211 |
| CALOR ADICIONAL PARA LA COGENERACION | kJ/hr | 18,089,995 | 36,179,989 |
| PODER CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE | kJ/kg | 42,900 | 42,900 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR PARA EL PROCESO | GAL/hr | 795.93 | 1,591.87 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA EL CICLO DE COGENERACION | GAL/hr | 918.14 | 1,836.28 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE ADICIONAL | GAL/hr | 122.21 | 244.42 |
| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | kW | 3,170.43 | 6,340.87 |
| POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA | kW | 4,400.00 | 4,400.00 |
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | kWh/AÑO | 22,218,407 | 44,436,813 |
| ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA | kWh/AÑO | 30,835,200 | 30,835,200 |
| PRECIOS (Julio 1996) | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | US\$/AÑO | 1,333,104 | 2,666,209 |
| PRECIO DE CALDERA 45 bar, 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | US\$ | 1,650,000 | 1,650,000 |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar, 420°C A 15 bar, 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 344,016 | 344,016 |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar, 420°C A 5 bar, 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 497,320 | 497,320 |
| OPERACION Y MANTENIMIENTO | US\$/AÑO | 422,354 | 422,354 |

| CUADRO N° 4.4 B.- FLUJO DE CAJA ALTERNATIVA b) | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-------------|---------------------------|------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| VIDA UTIL | | | | | | ANOS | 20.00 | 20.00 |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | ANOS | - | - |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (2,491,336) | 0 | 0 | 0 | (2,491,336) | (2,491,336) | (2,491,336) | (2,491,336) |
| 1 | 0 | (422,354) | (399,097) | 1,333,104 | 511,654 | (1,979,682) | 465,140 | (2,026,196) |
| 2 | 0 | (422,354) | (399,097) | 1,333,104 | 511,654 | (1,468,028) | 422,855 | (1,603,342) |
| 3 | 0 | (422,354) | (399,097) | 1,333,104 | 511,654 | (956,374) | 384,413 | (1,218,928) |
| 4 | 0 | (422,354) | (399,097) | 1,333,104 | 511,654 | (444,720) | 349,467 | (869,462) |
| 5 | (2,491,336) | (422,354) | (399,097) | 1,333,104 | (1,979,682) | (2,424,402) | (1,229,227) | (2,098,689) |
| 6 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | (1,401,094) | 577,631 | (1,521,058) |
| 7 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | (377,786) | 525,119 | (995,939) |
| 8 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 645,522 | 477,381 | (518,558) |
| 9 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 1,668,830 | 433,982 | (84,576) |
| 10 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 2,692,138 | 394,530 | 309,954 |
| 11 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 3,715,445 | 358,663 | 668,617 |
| 12 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 4,738,753 | 326,057 | 994,674 |
| 13 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 5,762,061 | 296,416 | 1,291,090 |
| 14 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 6,785,369 | 269,469 | 1,560,559 |
| 15 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 7,808,677 | 244,972 | 1,805,531 |
| 16 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 8,831,985 | 222,702 | 2,028,232 |
| 17 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 9,855,293 | 202,456 | 2,230,688 |
| 18 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 10,878,601 | 184,051 | 2,414,739 |
| 19 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 11,901,909 | 167,319 | 2,582,058 |
| 20 | 0 | (844,708) | (798,193) | 2,666,209 | 1,023,308 | 12,925,217 | 152,108 | 2,734,167 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | | 2,734,167 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 19.74% |

| CUADRO 4.5 RESUMEN EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE PARAMETROS DE GENERACION | | | | |
|--|-------|---------------|---------------|---------------|
| ALTERNATIVA | | a | b | c |
| PRODUCCION DE VAPOR TOTAL | kg/hr | 96,000.00 | 96,000.00 | 96,000.00 |
| PRESION | bar | 30.00 | 45.00 | 60.00 |
| TEMPERATURA | °C | 325.00 | 420.00 | 450.00 |
| POTENCIA OBTENIDA | kW | 4,290.95 | 6,340.87 | 7,489.40 |
| ENERGIA ELECTRICA OBTENIDA | kW.h | 18,794,358.02 | 44,436,813.15 | 52,485,732.62 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE | GAL/h | 1,707.34 | 1,836.28 | 1,868.61 |
| COMB. EQUIVALENTE PARA VAPOR DE PROCESO | GAL/h | 1,521.45 | 1,591.87 | 1,594.40 |
| COMB. EQUIV. ADICIONAL PARA LA COGENERACION | GAL/h | 185.89 | 185.89 | 185.89 |
| VALOR ACTUAL NETO | US\$ | 806,747 | 2,734,167 | 2,457,109 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | % | 17.07% | 19.74% | 16.73% |

4.3 POSIBLES CONFIGURACIONES DE EQUIPOS

En el acápite anterior llegamos a determinar los parámetros óptimos de generación de vapor suponiendo procesos de expansión independientes para obtener vapor de 15 bar y 5 bar, sin embargo, también se puede utilizar un proceso de expansión hasta 5 bar con una extracción para el vapor a 15 bar. La ventaja de esta configuración es la simplificación del sistema de generación al utilizar una sola turbina para obtener las dos presiones requeridas por el proceso productivo.

4.3.1 CÁLCULOS PARA UN CICLO DE COGENERACIÓN CON EXTRACCIÓN DE VAPOR

En el anexo Nro. 2 se presenta el procedimiento teórico utilizado para la estimación de una turbina a vapor con extracción automática con 45,830 kg/hr 45 bar y 420°C de entrada, 5 bar en la salida y una extracción de 17,400 kg/hr a 15 bar.

El método en realidad tiene como objetivo determinar el consumo de vapor requerido por la turbina para producir una potencia deseada, en base a los consumos teóricos (TSR Teoretical Steam Rate) correspondientes a los saltos entálpicos desde la presión de admisión hasta las presiones de extracción (TSR2) y salida (TSR1); y dicho consumo teórico no es más que el valor inverso del salto entálpico teórico. Luego, presenta una tabla de eficiencias, de acuerdo a la potencia y a la presión de admisión de la máquina.

Posteriormente, para incluir el efecto de la extracción el método presenta un factor de operación a media carga dependiente de la relación $TSR1 / TSR2$ que afecta al consumo teórico sin extracción (TSR1).

Finalmente, el consumo real de la turbina es el consumo que tendría en el ciclo sin extracción, adicionándole el debido a la extracción.

En nuestro caso, se ha realizado el cálculo considerando inicialmente una potencia similar a la de caso 4.2.B (dos ciclos simples) para luego iterar variando dicha potencia hasta obtener el consumo de vapor deseado para nuestro proyecto.

El resumen de los cálculos se presenta en cuadro 4.6. En dicho cuadro podemos observar que la potencia obtenida es menor que la obtenida para el caso 4.2.B en un 6.5%, lo que puede tener incidencia significativa en la rentabilidad; sin embargo, como confirmaremos más adelante, las turbinas con extracción tienen una mayor eficiencia por ser turbinas multietapa, de manera que pueden entregar mayor potencia que la combinación de turbinas de etapa simple.

| CUADRO N° 4.6.- METODO DE ESTIMACION DE TURBINAS CON EXTRACCION AUTOMATICA | | | |
|---|--------|----------------|---------------|
| | | ETAPA 1 | ETAPA2 |
| ESTADO DEL VAPOR GENERADO Y CONSUMIDO | | | |
| PRESION DE GENERACION | bar | 45.00 | 45.00 |
| TEMPERATURA DE GENERACION | °C | 420.00 | 420.00 |
| VAPOR PRODUCIDO | kg/hr | 48,000.00 | 96,000.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 30 bar Y 325 °C | kg/hr | 2,170.00 | 4,340.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 15 bar Y 230 °C | kg/hr | 17,400.00 | 34,800.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 5 bar Y 175 °C | kg/hr | 28,430.00 | 56,860.00 |
| TEMPERATURA DE CONDENSADOS | °C | 100.00 | 100.00 |
| PROPIEDADES TERMICAS | | | |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 45 bar Y 420 °C | kJ/kg | 3,250.49 | 3,250.49 |
| ENTROPIA DEL VAPOR A 45 bar Y 420 °C | kJ/kg° | 6.7611 | 6.7611 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,967.31 | 2,967.31 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,757.30 | 2,757.30 |
| ENTALPIA DE LOS CONDENSADOS | kJ/kg | 419.04 | 419.04 |
| CALCULO TERMICO DEL CICLO DE VAPOR | | | |
| EFICIENCIA DE LA CALDERA | % | 95.00 | 95.00 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 15 bar | % | 57.40 | 57.40 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 5 bar | % | 65.45 | 65.45 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 5 bar A MEDIA CARGA | % | 57.74 | 57.74 |
| EFICIENCIA DEL ALTERNADOR | % | 96.00 | 96.00 |
| FACTOR DE CARGA | % | 80.00 | 80.00 |
| CONSUMO TEORICO DE VAPOR DE 45 bar A 5 bar (TSR1) | kg/kJ | 0.002028 | 0.002028 |
| CONSUMO TEORICO DE VAPOR DE 45 bar A 15 bar (TSR2) | kg/kJ | 0.003531 | 0.003531 |
| EFICIENCIA DE LA MAQUINA | % | 66.61% | 66.61% |
| CONSUMO REAL DE VAPOR (A) | kg/hr | 32,785 | 65,570 |
| FACTOR DE CONSUMO A MEDIA CARGA | % | 57.81% | 57.81% |
| CONSUMO REAL DE VAPORA MEDIA CARGA (B) | kg/hr | 18,952 | 37,905 |
| TSR1/TSR2 | | 0.574180 | 0.574180 |
| FACTOR DE EXTRACCION (E) | % | 74.97% | 74.97% |
| EXTRACCION A 15 bar (F) | kg/hr | 17,400 | 34,800 |
| CONSUMO TOTAL CON EXTRACCION (A+(ExF)) | kg/hr | 45,830 | 91,660 |
| F | kg/hr | 17,400 | 34,800 |
| POTENCIA EN BORNES | kW | 2,991.68 | 5,983.37 |

4.3.2 RESUMEN DE EQUIPOS PRESENTADOS POR DIVERSOS FABRICANTES

El siguiente paso en el desarrollo del proyecto fue solicitar de manera formal a diversos fabricantes de calderas y turbinas a realizar propuestas para el suministro de equipos que cumplan con las siguientes características:

1. Vapor para Procesos
 - 30 bar, 325°C, 2 TM/h
 - 15 bar, 230°C, 16 TM/h
 - 5 bar, 175°C, 28 TM/h

2. Vapor de Generación
 - 45 bar, 420°C, 50 TM/h (1º etapa)
 - 45 bar, 420°C, 100 TM/h (2º etapa)

3. Energía eléctrica cogenerada
 - 10.5 Kv, 60 Hz

4. Caldera tipo paquete:
 - 45 Bar, 420°C, 50 TM/h
 - Combustible: Residual Nro.5
 - Poder calorífico alto: 43100 kJ/kg

5. Turbina a vapor a contrapresión
 - Vapor entrada: 45 bar, 420°C, 28.8 TM/h
 - Salida: 5 bar,
 - Potencia en bornes: 2400 KW

 - Turbina a vapor a contrapresión
 - Vapor entrada: 45 bar, 420°C, 16.0 TM/h
 - Salida: 15 bar,
 - Potencia en bornes: 600 KW

6. Turbina a vapor con extracción (Alternativa de dos turbinas a contrapresión)
 - Vapor entrada: 45 bar, 420°C, 44.8 TM/h
 - Extracción: 15 bar, 290°C, 16.0 TM/h
 - Salida: 5 bar, 196°C, 28.8 TM/h
 - Potencia en bornes: 3000 KW

A continuación las características generales de los equipos presentados.

Cuadro 4.7.- Resumen de equipos presentados

| | CALDERAS | EFICIENCIA | PRECIO US\$ |
|---|------------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | BABCOCK & WILCOX | 86.35% | 1,920,000.00 |
| 2 | BABCOCK CHILE | 82.00% | 904,123.20 |
| 3 | COMBUSTION ENGINEERING | 87.80% | 2,016,000.00 |
| 4 | CERREY (MEXICO) | 84.82% | 1,760,000.00 |
| | PROMEDIO | 85.24% | 1,650,030.80 |

| | TURBINAS | TIPO | EFICIENCIA | PRECIO US\$ | POTENCIA kW |
|---|---|--------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | BB (BRASIL) CONTRAPRESION 5 bar | ETAPA SIMPLE | 63.80% | 320,000.00 | 2,338.00 |
| 2 | BB (BRASIL) CONTRAPRESION 15 bar | ETAPA SIMPLE | 52.70% | 217,600.00 | 634.00 |
| 3 | BB (BRASIL) EXTRACCIÓN | MULTIETAPA | 77.98% | 1,121,568.63 | 3,796.00 |
| 4 | ETER BROTHERHODS (INGLATERRA) CONTRAPRESION 5 bar | MULTIETAPA | 78.20% | 680,000.00 | 2,866.00 |
| 5 | ETER BROTHERHODS (INGLATERRA) EXTRACCION | MULTIETAPA | 78.57% | 2,266,666.67 | 3,824.00 |
| 6 | KK (ALEMANIA) CONTRAPRESION 5 bar | ETAPA SIMPLE | 73.70% | 715,000.00 | 2,701.00 |
| 7 | KK (ALEMANIA) CONTRAPRESION 15 bar | ETAPA SIMPLE | 77.40% | 473,600.00 | 931.00 |
| 8 | KINNER (EE.UU.) CONTRAPRESION 5 bar | ETAPA SIMPLE | 59.00% | 456,960.00 | 2,162.00 |
| 9 | KINNER (EE.UU.) CONTRAPRESION 15 bar | ETAPA SIMPLE | 48.74% | 340,848.00 | 586.00 |

4.3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS CONFIGURACIONES PRESENTADAS

Como se puede apreciar, existen varias alternativas en la configuración del sistema de generación eléctrica. Consideraremos 7 casos, nombrados de "A" hasta "F":

- El caso A será con las dos turbinas ABB de ciclo simple
- El caso B será con la turbina multietapa con extracción ABB
- El caso C será la turbina multietapa sin extracción Peter Brotherhoods (PB), acompañada por la Turbina KKK de ciclo simple, pues PB no tiene una similar
- El caso D será la turbina PB multietapa con extracción
- El caso E será con las turbina KKK y por último
- El caso F con las turbinas Skinner de ciclo simple.

En todos los casos consideraremos un precio promedio para la caldera, con eficiencia similar a la supuesta para el caso 4.2.B, con la finalidad de determinar la alternativa más conveniente en cuanto a turbinas.

Los cálculos realizados para cada caso se encuentran en el anexo 1. El cuadro 4.8 nos presenta un resumen de los casos considerados y los resultados para el VAN y el TIR de cada uno.

Como se puede observar en dicho cuadro, el equipo más conveniente desde es punto de vista económico, resulta ser el caso B, una turbina ABB multietapa con extracción, a pesar de no tener el monto de inversión más bajo.

Cuadro 4.8.- Resumen alternativas de configuración de equipos y resultados de evaluación económica

| CASO | TURBINAS | POTENCIA kW | ENERGIA kW.h | TURBINA 15 bar US\$ | TURBINA 5 bar US\$ | TURBINA EXTRACCION US\$ | TOTAL TURBINAS US\$ | COSTO PROM. CALDERA US\$ | INVERSION TOTAL US\$ | VAN US\$ | TIR % |
|------|----------|----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------|----------|
| A | 1 + 2 | 2,972.00 | 20,827,776.00 | 217,600.00 | 320,000.00 | - | 537,600.00 | 1,650,030.80 | 2,187,630.80 | 4,816,832.82 | 28.59% |
| B | 3 | 3,796.00 | 26,602,368.00 | - | - | 1,121,568.63 | 1,121,568.63 | 1,650,030.80 | 2,771,599.43 | 7,683,372.86 | 33.01% |
| C | 4 + 7 | 3,797.00 | 26,609,376.00 | 473,600.00 | 680,000.00 | - | 1,153,600.00 | 1,650,030.80 | 2,803,630.80 | 7,594,620.33 | 32.52% |
| D | 5 | 3,824.00 | 26,798,592.00 | - | - | 1,700,000.00 | 1,700,000.00 | 1,650,030.80 | 3,350,030.80 | 6,135,986.91 | 25.67% |
| E | 6 + 7 | 3,632.00 | 25,453,056.00 | 473,600.00 | 715,000.00 | - | 1,188,600.00 | 1,650,030.80 | 2,838,630.80 | 6,573,234.16 | 29.47% |
| F | 8 + 9 | 2,748.00 | 19,257,984.00 | 340,848.00 | 456,960.00 | - | 797,808.00 | 1,650,030.80 | 2,447,838.80 | 2,803,937.85 | 20.14% |

4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para la selección final de los equipos no se consideró solamente su ventaja económica; en este caso, se tuvo que pensar también en la confiabilidad del sistema y en la facilidad para su reparación y mantenimiento como dos aspectos muy importantes.

El análisis económico definió el uso de la turbina ABB multietapa, con extracción como la alternativa más atractiva.

Entre los equipos que posee y opera actualmente La Empresa esta la turbina AEG KANIS, marca que en la actualidad pertenece al grupo ABB. El comportamiento de esta máquina desde el inicio de su operación ha sido totalmente satisfactorio para la empresa lo que le ha dado gran confianza.

Adicionalmente, la configuración de la turbina multietapa con extracción simplifica la operación y de la misma y ocupa menos espacio que la alternativa de dos máquinas de ciclo simple para cada salto de presiones.

Por todas estas razones la alternativa elegida para las turbinas fue el caso B, de una turbina ABB multietapa con extracción.

En el caso de las calderas, el criterio económico no ha sido considerado como el más importante, sino el de la confiabilidad del equipo.

La evaluación en este caso llevo a La Empresa a la elección de la caldera Babcock & Wilcox.

En los anexos E y F se presentan las características técnicas de los equipos seleccionados.

CAPITULO V

DESARROLLO DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Una de las condiciones en la implementación del proyecto fue la de realizarlo sin interrumpir la producción en ningún momento, lo que obligó a concebir el nuevo sistema sin tocar prácticamente para nada el existente, entregándole el vapor en las mismas condiciones en que lo recibía hasta el momento. De esta manera se definieron una serie de etapas que explicamos más adelante.

Por otro lado, por la magnitud de la inversión y los nuevos parámetros de generación se decidió realizar la implementación gradualmente, reemplazando primero el sistema de generación existente y luego ampliando para llegar a la capacidad proyectada.

5.2 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACIÓN

Basándonos en las características de los equipos seleccionados y adquiridos, en las características del sistema existente y en todas las

consideraciones ya mencionadas, se decidió la implementación de la siguiente manera:

- Preparación del proyecto del nuevo sistema de distribución de vapor y generación de electricidad, que debía empezar a operar sin afectar al sistema existente.
- Retiro de las calderas antiguas Nro.1 y Nro.2 y preparación de la cimentación para la nueva caldera Nro. 1.
- Instalación en sitio de la nueva caldera Nro.1
- Preparación del sistema de alimentación del nuevo sistema y conexión del nuevo cabezal de distribución con el sistema existente mediante una válvula reductora de 45 a 30 bar.
- Preparación del sistema de distribución desde el nuevo cabezal hasta la primera nueva turbina, numerada como Nro.4 y desde la misma hasta el sistema existente.
- Preparación de la casa de maquinas y cimentación para nueva turbina (Nro.4).
- Instalación la nueva turbina e interconexión del sistema eléctrico.
- Fin de la primera etapa, operación del sistema de generación de vapor utilizando la nueva caldera y la nueva turbina, con las antiguas calderas restantes (Nro.4 y 5) y las antiguas turbinas como sistema de respaldo
- Inicio de la segunda etapa con el retiro de la antigua caldera Nro. 4 y preparación de la cimentación para una segunda nueva caldera (Nro.2)
- Preparación de la casa de maquinas y cimentación para la segunda nueva turbina (Nro.5)
- Preparación de la ampliación del sistema de distribución de vapor.

- Instalación de la nueva caldera Nro.2 sin interrumpir el proceso de producción.
- Instalación de la segunda nueva turbina e interconexión eléctrica.
- Operación del sistema con las dos calderas nueva y las dos turbinas nuevas, con la antigua caldera Nro. 5 y las antiguas turbinas como respaldo.
- Retiro de la caldera Nro. 5 y preparación de la cimentación y sistema de distribución para una nueva tercera caldera.
- Instalación de la última caldera nueva
- Fin del proyecto con la operación del sistema con las tres calderas nuevas, las dos turbinas nuevas y las turbinas antiguas como respaldo.

5.3 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL NUEVO SISTEMA

La concepción del nuevo sistema consideró su ejecución sin interrumpir el proceso productivo lo que determinó que el nuevo cabezal de distribución de vapor de alta presión debía estar fuera de la casa de máquinas, así como las nuevas turbinas y su cabezal de distribución.

La ubicación del cabezal de alta debía ser lo mas cercana posible al cabezal existente y a su vez permitir la instalación de las calderas nuevas en diferentes momentos, sin interrumpir la operación.

La ubicación de las nuevas calderas no fue un gran problema pues podían ocupar el espacio dejado por las calderas antiguas; sin embargo, los nuevos equipos debían ser especialmente compactos.

Para las nuevas turbinas se tuvo que pensar en una localización diferente puesto que La Empresa no deseaba deshacerse de la turbina Nro. 2 (la más grande de las existentes). Dicha localización debía ser también lo

más cercana posible a la planta de energía y se determinó que el mejor lugar era un espacio disponible en la parte de atrás de la planta de energía, al lado de la planta de tratamiento de agua.

A consecuencia de estas ubicaciones para los nuevos equipos, el mejor lugar para el cabezal resultó ser fuera de la planta de energía, delante de las nuevas calderas y elevado sobre una estructura soporte adecuada que permitiera la instalación de las nuevas calderas pasándolas debajo. Esta ubicación también resultaba ventajosa para el sistema de distribución hacia las nuevas turbinas pues tenía que atravesar todo el edificio de la planta de energía existente y esto solo fue posible por encima del techo y debía permitir lo siguiente:

- Recolectar el vapor de alta presión de las tres nuevas calderas.
- Alimentar directamente al antiguo cabezal a través de una válvula reductora, suministrando hasta 50TM/hr, lo cual permite iniciar la operación de la primera caldera de 45 bar en conjunto con las antiguas de 30 bar. La válvula reductora estaría conectada a sistema existente a través del acceso dejado por la antigua caldera Nro.2
- Alimentar a las dos nuevas turbinas con vapor a 45 bar.

Para lograr todos los objetivos mencionados, este nuevo cabezal de distribución de alta presión debe estar ubicado sobre un puente soporte de tuberías, ubicado delante de las calderas y con suficiente altura para permitir la instalación posterior de las nuevas calderas 2 y 3, sin interrumpir en ningún instante el suministro de vapor.

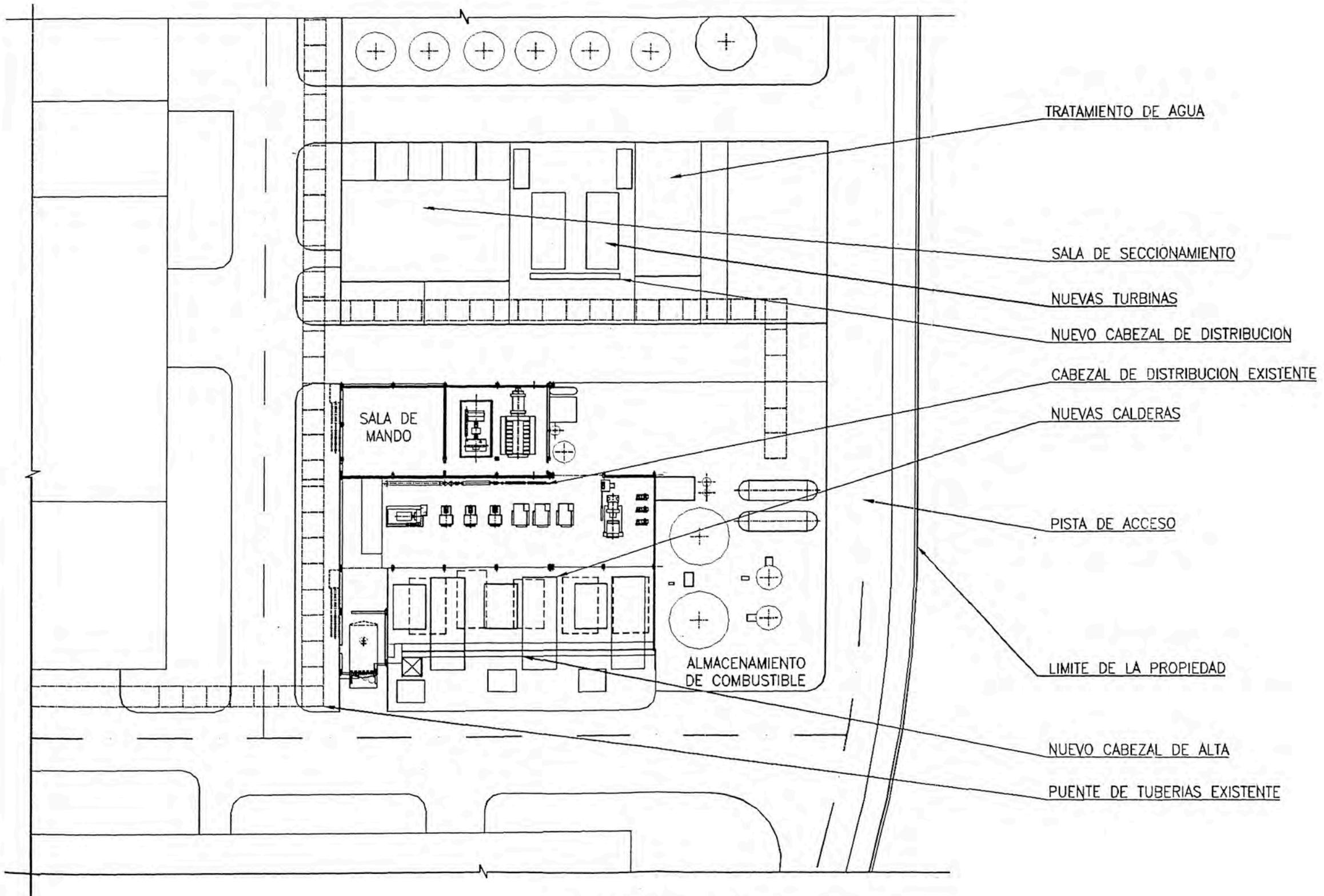


FIGURA 5.1.- DISTRIBUCIÓN DE NUEVOS EQUIPOS

El cabezal existente tenía un acceso de reserva para 30TM/hr a 5 bar y 16TM/hr a 15 bar. El vapor de 30 bar le llegará a través del acceso de la antigua caldera Nro.2. El suministro adicional para las líneas de producción se haría del nuevo cabezal de distribución ubicado en la casa de máquinas de las nuevas turbinas, que alimentaría además al cabezal existente a través de los accesos mencionados. El nuevo cabezal de distribución debería tener capacidad para administrar la totalidad del vapor de la fabrica, alimentando al cabezal antiguo y a la ampliación de las líneas de producción, inclusive en caso de quedar las turbinas fuera de operación, a través de válvulas reductoras adecuadas.

Los fabricantes de las calderas y las turbinas proporcionaron los esquemas de principio respectivos que fueron la base para el desarrollo del resto de sistema de la siguiente manera:

- Sistema de agua de alimentación
- Sistema de purgas y condensados
- Sistema de alimentación de combustible
- Alimentación al cabezal de alta presión
- Distribución desde el cabezal de alta hacia el reductor a 30 bar y alimentación a las turbinas
- Nuevo cabezal de distribución para el vapor de proceso.

El esquema de principio se muestra en la figura 5.2. Se ha representado los equipos con diferentes colores: azul para caldera y turbina nuevas, cada una con sus equipos propios; rojo para accesorios nuevos para el sistema de distribución de vapor; negro para equipos y accesorios existentes y correspondientes al sistema en actual funcionamiento.

En los anexos 4 y 5 se tiene las listas de materiales.

LEGENDA DE CORES

- EQUIPO POR ADQUIRIR (INSTALAR)
- EQUIPO ADQUIRIDO O EXISTENTE, POR INSTALAR
- EQUIPO EXISTENTE

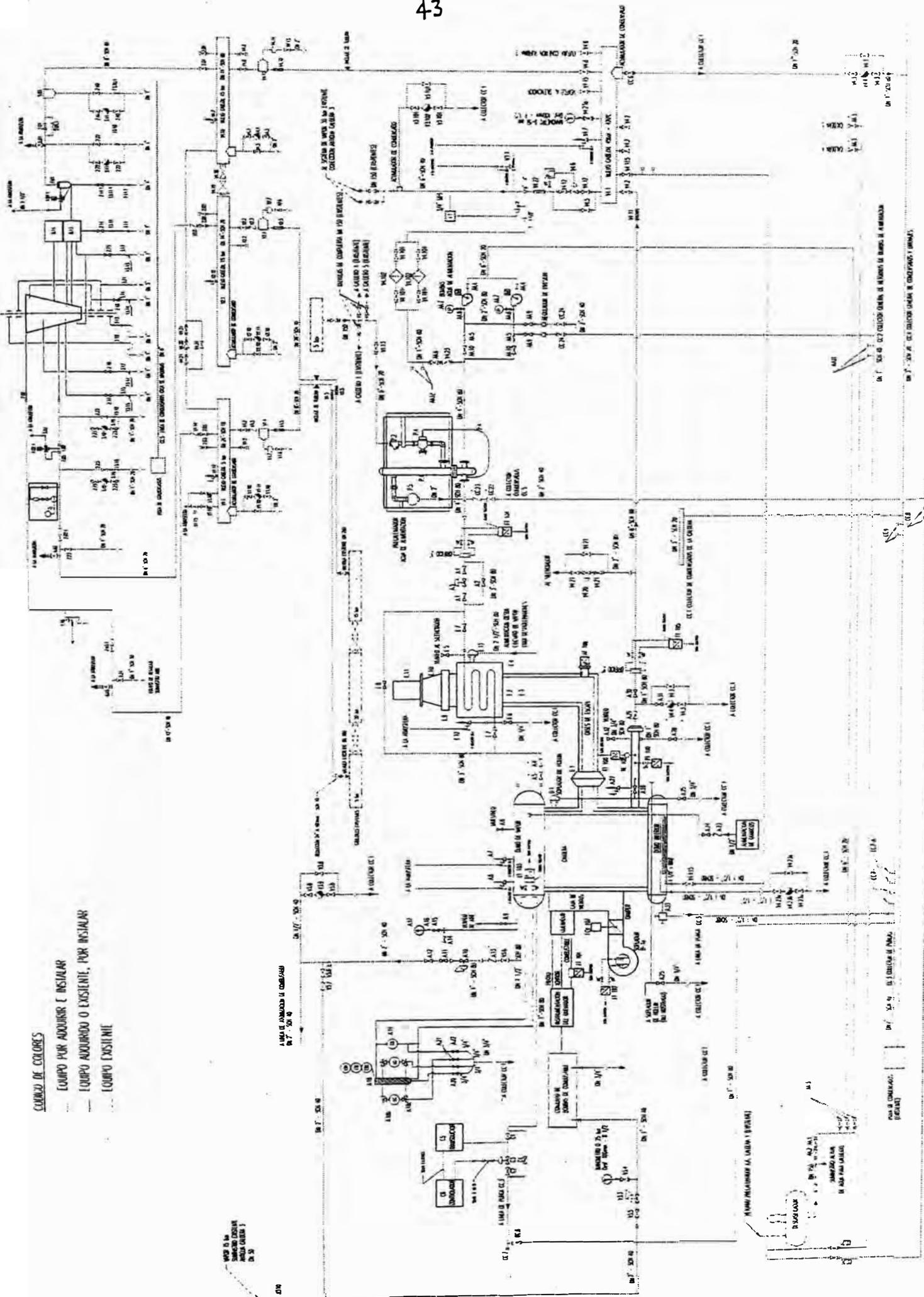


FIGURA 5.2 - ESQUEMA DE PRINCIPIO

Con respecto a los dispositivos de la turbina que figuran en el esquema de principio, los más importantes son:

- Dispositivo de control de vapor de admisión, 8", 900 psi : 1.01.1
- Dispositivo de control de vapor de extracción: 1.01.1
- Válvula de vapor de extracción, 8", 300 psi: 1.02
- Válvula de vapor de salida, 16", 150 psi: 2.01.1

Para el sistema de agua de alimentación, en primer lugar se verifica el tanque desgasificador, el cual debería tener capacidad suficiente para mantener por si solo la alimentación a las calderas durante un tiempo de 0.5 horas, considerando un eventual corte del agua de reposición.

Luego se verifica la disposición del tanque, de manera que asegure presión positiva en la alimentación a las bombas de las calderas y por último se determina el diámetro de las tuberías, el cual dependerá del caudal y de la caída de presión por fricción que se genere al circular el agua. El espesor de las tuberías de alimentación dependerá de la presión y el material dependerá de la temperatura. Estos parámetros los determinaremos con ayuda de las normas respectivas.

El sistema de purgas y condensados dependerá fundamentalmente de los requerimientos de la caldera. El diámetro de las tuberías debe ser tal que permita un flujo libre. Se recolectará los efluentes de las tres calderas en un colector que conducirá los fluidos a una poza de condensados existente. Dentro de este acápite incluiremos el retorno de las bombas de alimentación que son llevados directamente de regreso al desgasificador.

La alimentación de combustible para las nuevas calderas se hará utilizando el sistema existente, el cual alimenta a las calderas actuales. Se tendrá que verificar la capacidad de las tuberías de suministro.

5.4. DESARROLLO DE CADA PARTE DEL SISTEMA

5.4.1 UBICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE CIMENTACIÓN DE LAS CALDERAS

Las nuevas calderas serán ubicadas en el lugar que irán dejando las antiguas a medida que vayan siendo reemplazadas. Al momento de realizar este proyecto existían 5 calderas, cuyas características fueron descritas en el acápite 2.4; la caldera N° 2 ya había sido retirada y estaba en proceso de retiro la N° 3.

La caldera B&W adquirida se ubica en el espacio dejado por las antiguas 2 y 3, aproximadamente en la zona central del patio de calderas. La longitud de las nuevas es mayor que las anteriores, de manera que tendrán que sobresalir e incluso quedar encima de las actuales canaletas de tuberías de agua de alimentación y de purgas y condensados. Puesto que la instalación de la caldera no deberá interrumpir la operación de la fábrica, se ha previsto que la cimentación permita el cruce de las tuberías existentes quedando embebidas en la placa de cimentación. Esta solución es temporal por que estas tuberías solo operarían mientras permanezcan los equipos antiguos. Para las nuevas calderas se construirá otra canaleta de purgas y condensados, retiradas hacia atrás de la ubicación actual; mientras que las nuevas tuberías de agua de alimentación se

colocan sobre un el puente de tuberías, en el lado posterior de los nuevos equipos, en donde también se va el cabezal de alta.

Existe también un silenciador (ver figura 2.3) que permanece en su lugar puesto que no entorpece la instalación de los nuevos equipos.

La poza de condensados existente queda en su lugar.

La placa de cimentación aprovecha la que queda de la antigua caldera N° 3, extendiéndola hacia atrás. Además de la caldera propiamente dicha, están los equipos auxiliares:

- Chimenea
- Economizador
- Soporte para economizador-chimenea
- Conjunto de bombas de agua de alimentación
- Conjunto de bombeo de combustible
- Precalentador de agua de alimentación

En el anexo N° 6 se tiene las dimensiones exteriores y requerimientos de espacio para la caldera adquirida y sus equipos auxiliares, en planos proporcionados por los fabricantes.

Con toda esta información se ubicó los equipos auxiliares alrededor de la nueva caldera, en un arreglo que permitiese en el futuro el retiro de los equipos antiguos y la instalación de los nuevos sin interrumpir la operación del sistema. También esta proyectada la ubicación de las dos futuras nuevas calderas y sus correspondientes auxiliares. En la figura 5.3 se presenta la distribución más conveniente.

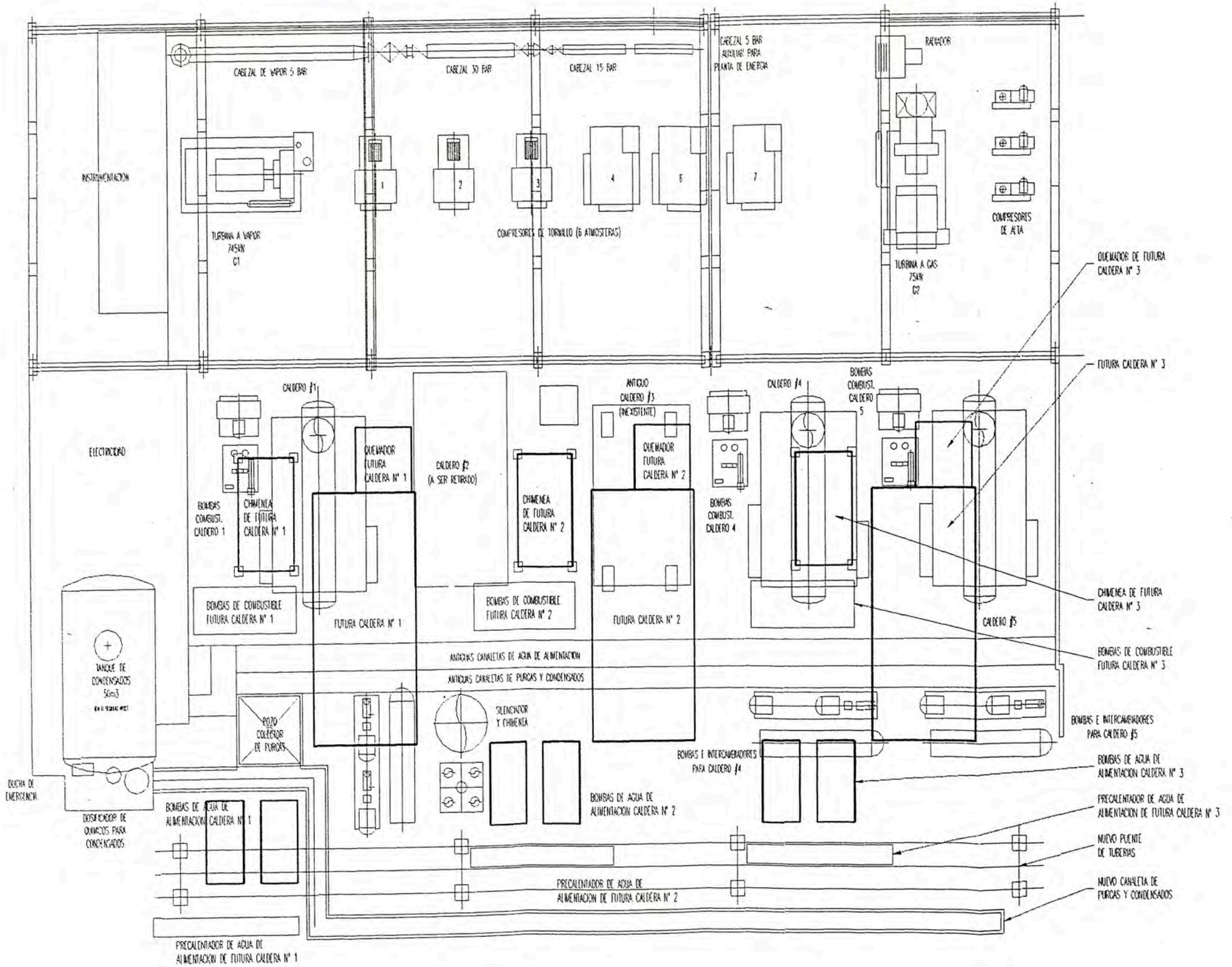


FIGURA 5.3.- DISTRIBUCION CON NUEVAS CALDERAS

Con la ubicación de los equipos ya determinada, se procede a especificar el peso y condiciones de operación de cada equipo con la finalidad de diseñar la cimentación respectiva; trabajo que escapa al alcance de este informe y que fue encargado a un ingeniero civil.

La carga portante del suelo considerada para el proyecto fue determinada por el usuario en 0.5 kg/cm², que corresponde a un suelo arenoso. A continuación el peso de cada equipo:

Caldera

- Peso total de la caldera vacía: 53 637 kg
- Peso de la caldera en operación: 66 864 kg
- Peso de la caldera en prueba hidrostática: 71 818 kg
- Peso del quemador: 4 091 kg

Chimenea: 1 134 kg

Economizador:

- Peso del economizador vacío: 14 515 kg
- Peso del economizador en operación: 16 057 kg

Soporte economizador-chimenea: 3 175 kg

Transición de salida economizador-chimenea: 816 kg

Conjunto bombas de agua de alimentación: 4 350 kg

Conjunto bombas de combustible y accesorios: 1 160 kg

Precalentador de agua de alimentación: 750 kg

B&W proporcionó el plano N° FM117-60138D (Anexo 6) con los detalles de sujeción de la caldera a la placa de cimentación.

Los requerimientos de sujeción indicados en este plano consideran la distribución del peso y la dilatación debido al cambio de

temperaturas, para lo cual se debió instalar de unas placas metálicas empotradas al concreto, así como la instalación de pernos de fijación.

Por otro lado, la longitud de la nueva caldera resulto ser bastante mayor a las existentes, por lo que se tuvo que extender la placa de cimentación hacia atrás y pasar por encima de la canaleta de purgas y condensados existente y que debía mantenerse plenamente operativa. Esto obligó a tener consideraciones especiales en la zona en que la placa atraviesa la canaleta en cuestión.

El diseño de las obras civiles correspondientes se encargó a un especialista. En el anexo N° 7 se presenta los planos a escala reducida, de construcción y detalles preparados para la cimentación de los equipos. En dichos planos se presenta también la cimentación del nuevo puente de tuberías que describiremos en el acápite 5.4.4.

A continuación se encuentra la figura 5.4 con la ubicación y dimensiones finales de los equipos a instalar.

5.4.2 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

En primer lugar se verifica la capacidad del tanque desgasificador de la siguiente manera: [1]

$$V_t = W_u \times W_r \times t$$

En donde:

W_u = flujo de vapor principal a la turbina

W_r = % de agua de reposición

t = tiempo de duración = 0.5 horas

En nuestro caso:

W_u = 3 x 44 ton/h

W_r = 7.44%

V_t = 4.62 m³

De la mediciones realizadas en campo, el tanque de desgasificación existente tiene una capacidad total de 25 m³ y se encuentra ubicado a una altura de 6.3 m sobre el nivel del piso de la casa de máquinas, por lo que no es necesario hacer ningún cambio.

En segundo lugar se determina las dimensiones de las tuberías. En plano N° GA-18062 proporcionado por el fabricante de bombas podemos observar que para la aducción se requiere tubos con diámetro mínimo de 6" y en la salida tubos de 4". En la salida del tanque desgasificador, consideraremos un diámetro de 10" por que de esta salida se alimentarán las tres nuevas calderas; la sección de las tres tuberías de 6" es aproximadamente la misma que la de una de 10"; de esta manera se conserva la velocidad uniforme del fluido y el mismo nivel de pérdidas.

Se definen cuatro tramos principales:

- Desde el desgasificador hasta las entrada a las bombas
- Desde las bombas al precalentador, y
- Del precalentador al economizador, incluyendo estación de control.
- Del economizador a la caldera.

Para determinar los espesores consideraremos para el primer tramo una presión de operación de 6.3m de columna de agua a 150°C, que es la presión nominal del tanque desgasificador. Para el segundo y tercer tramo, consideraremos 45 bar con 175°C puesto que el precalentador de agua de alimentación utiliza vapor de 5 bar y 175°C, y para el cuarto tramo usaremos 45 bar y 250°C. El procedimiento de cálculo se hará de acuerdo a la norma ASME Boiler Construction Code, Power Section. De acuerdo con estos cálculos, se obtiene los espesores mínimos con los cuales seleccionamos tuberías de dimensiones normalizadas y fáciles de conseguir. A continuación el resumen de cálculos.

Cuadro 5.1.- Resumen de cálculo de tuberías de agua de alimentación

| DIAM. | PRESION | | TEMPERATURA | | S | tm | Corrosión | tm | tn | |
|-------|---------|--------|-------------|--------|----------|-------|-----------|-------|-------|----|
| | pulg. | bar | psi | °C | | | | | | |
| 10 | 6.8 | 100,00 | 150,00 | 302,00 | 12000,00 | 0,042 | 0,065 | 0,107 | 0,250 | 20 |
| 6 | 6.8 | 100,00 | 150,00 | 302,00 | 12000,00 | 0,025 | 0,065 | 0,090 | 0,090 | 20 |
| 4 | 45,00 | 661,50 | 175,00 | 347,00 | 12000,00 | 0,108 | 0,065 | 0,173 | 0,173 | 20 |
| 4 | 45,00 | 661,50 | 250,00 | 482,00 | 12000,00 | 0,108 | 0,065 | 0,173 | 0,173 | 20 |

Una vez determinadas las secciones a usar se procedió a ubicar los conductos sobre el nuevo puente soporte de tuberías y obtener el metrado correspondiente.

En los planos VA-1, VA-2, VA-3 y VA-4 con la disposición de las tuberías de agua de alimentación y de los sistemas de vapor que desarrollaremos en los acápites siguientes, el isométrico de las mismas con cada elemento marcado; en la tabla 5.11 el metrado completo del sistema.

5.4.3 TUBERÍAS DE VAPOR DESDE LA CALDERA AL NUEVO CABEZAL DE ALTA Y ENTREGA AL SISTEMA EXISTENTE

Se definen 5 tramos o subsistemas de distribución de vapor:

- Vapor de la caldera al nuevo cabezal de alta presión, 45 bar, 420°C.
- Alimentación desde el cabezal de alta al sistema existente mediante una reducción de presión 45 a 30 bar, 420°C.
- Alimentación al precalentador de agua de alimentación con vapor del sistema existente, 5 bar, 175°C,
- Distribución de vapor para atomización del combustible,
- Suministro de vapor 15 bar para precalentador de petróleo desde el sistema existente,

Las condiciones de operación de las tuberías caen en cuatro niveles de presión y temperatura que se resumen en el cuadro 5.2.

Con estas condiciones de operación se realizaron los cálculos de espesor de las tuberías para cada diámetro utilizado, según el procedimiento descrito en el anexo N° 8

| NIVEL | PRESION | | TEMPERATURA | |
|-------|---------|--------|-------------|--------|
| | bar | Psig | °C | °F |
| 1 | 45 | 661.50 | 420 | 788.00 |
| 2 | 30 | 441.00 | 325 | 617.00 |
| 3 | 15 | 220.50 | 300 | 572.00 |
| 4 | 7 | 102.90 | 200 | 392.00 |

Cuadro 5.2 Niveles de presión y temperatura para el diseño de tuberías

Aunque ya se tiene una idea del camino que seguirán las tuberías de los diversos subsistemas, es indispensable determinar el diámetro de cada una antes de realizar el trazo definitivo, y ello se hace usando velocidades del fluido razonables como para obtener pérdidas por fricción aceptables. La máxima velocidad permisible depende de la aplicación; en nuestro caso es la que corresponde a la caída de presión admisible en el tramo desde el inicio hasta el final del mismo; en otros casos, el límite será el máximo que no produzca erosión excesiva en los ductos, válvulas o accesorios; y en otros casos, será el que no produzca ruido excesivo.

Cuando la pérdida de presión por fricción representa una pérdida de energía apreciable, el criterio es el óptimo económico en donde se evalúa la ganancia al tener pérdidas menores contra la mayor inversión en tubos de mayor diámetro.

El cuadro 5.3, propuesto por Samuel Weiner en el "Piping Handbook" [3] nos muestra las velocidades razonables para diversas aplicaciones, según la presión del fluido; por otro lado, Martiniano Aguilar en "Criterios de diseño de plantas termoeléctricas" [1] propone los valores de la tabla 5.4, como permisibles.

En nuestro caso, se observan y verifican los diámetros del sistema de distribución existente ya que estos son la mejor referencia del diámetro adecuado a esta aplicación, y se obtuvo velocidades inferiores a las presentadas en párrafos anteriores. Finalmente, se decidió realizar el diseño considerando las velocidades del cuadro 5.5.

Con respecto a los materiales, se escogieron teniendo como referencia las normas ASA B31.1 y ASME para calderas de potencia.

En el cuadro 5.6 se tiene el resumen de los cálculos de espesor para diversos diámetros; en el mismo cuadro se tiene el peso unitario de los tubos para la determinación de los soportes y la estimación de costos, así como su superficie exterior para estimar el costo del aislamiento.

Para los accesorios como codos tees y bridas hacemos uso de la norma ANSI B16.5, consistente con las normas ASTM y ASME, el material más adecuado en este caso es el ASTM A-105, que además es de fácil disponibilidad en el mercado local. El espesor de estos accesorios se puede seleccionar directamente de las tablas proporcionadas por la mencionada norma, que también presenta tablas de temperatura de operación, según el material del accesorio en las cuales se indica las presiones máximas de operación según la temperatura.

| FLUIDO | PRESION (psig) | USO | VELOCIDAD (pie/seg) |
|----------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Agua | 25 a 40 | Agua potable | 120 a 300 |
| Agua | 50 a 150 | Servicio en general | 300 a 600 |
| Agua | más de 150 | Alimentación de calderas | 600 a 1,200 |
| Vapor saturado | 0 a 15 | Calefacción | 4,000 a 6,000 |
| Vapor saturado | más de 50 | Misceláneos | 6,000 a 10,000 |
| Vapor sobrecalentado | más de 200 | Grandes turbinas o calderas | 10,000 a 20,000 |

Tabla 5.3 Velocidades razonables para el cálculo de tuberías

| FLUIDO | PRESION | USO | VELOCIDAD (m/seg) |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| Agua | - | Succión de bombas | 1.2 a 3.0 |
| Agua | - | Descarga de bombas | 2.0 a 7.6 |
| Vapor | baja presión | Misceláneos | 30.0 a 50.0 |
| Vapor húmedo | presión intermedia | Misceláneos | Máximo 50 |
| Vapor sobrecalentado | presión intermedia | Misceláneos | Máximo 100 |
| Vapor sobrecalentado | Alta presión | Grandes turbinas o calderas | 5.0 por cada 25mm de diámetro interior hasta 100.0 |

Tabla 5.4 Velocidades permisibles para tuberías en plantas termoeléctricas

| PRESION (bar) | TEMPERATURA | VELOCIDAD (m/seg) |
|---------------|-------------|-------------------|
| 5 | 175 | 16 |
| 15 | 230 | 20 |
| 30 y 45 | 420 | 24 |

Tabla 5.5 Velocidades para el cálculo de tuberías del proyecto

Para la selección de válvulas, los parámetros más importantes son la presión y temperatura de operación; en segundo lugar está el tipo más adecuado al uso que se le dará. Las válvulas de compuerta son comúnmente usadas cuando la caída de presión es un factor importante. Las válvulas de globo se utilizan con agua, vapor o aire cuando se desea regular el flujo pues se producen menos pérdidas en aberturas parciales, además de que los asientos y sellos que están más expuestos al desgaste a causa de la abertura parcial, son baratos y fáciles de reemplazar.

La estación reductora de presión está compuesta por una válvula de globo con regulación automática mediante un servomotor eléctrico; el proceso de selección se presenta en el anexo N° 9. En el lado de baja presión se instala además una válvula de seguridad, comúnmente conocida como RELIEF VALVE, para prevenir algún aumento excesivo de la presión.

Por último, después de la válvula de seguridad se instala una válvula atemperadora cuya función es inyectar agua procedente del lado de alta de las bombas de alimentación, para enfriar el vapor reducido de 45 bar y 420°C mediante un control automático de la temperatura aguas abajo; para determinar su capacidad se calculó la cantidad de agua que debería inyectarse para bajar la temperatura del vapor resultante del proceso de expansión en la reductora, suponiendo que en el peor de los casos este proceso es isoentálpico.

En el anexo N° 10 se presenta el cálculo respectivo.

CUADRO 5.6 RESUMEN DE CALCULOS DE ESPESOR DE TUBERIAS

| PRESION | | TEMP. | | DIA. NOM. | DIA. EXT. | MATERIAL | S | C | y | tm | tn | PESO | SUPERF. | |
|---------|--------|-------|-----|-----------|-----------|-----------------------------|--------|-------|-----|-------|-----|-------|---------|-------|
| bar | PSig | °C | °F | PLG | PLG | | PSI | PLG | | PLG | sch | PLG | kg/m | m2/mL |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 1/2 | 0.840 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.095 | 80 | 0.147 | 1.62 | 0.067 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 3/4 | 1.050 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.102 | 80 | 0.154 | 2.20 | 0.084 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 1 | 1.315 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.112 | 80 | 0.179 | 3.24 | 0.105 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 1 1/2 | 1.900 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.133 | 80 | 0.200 | 5.42 | 0.152 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 2 | 2.375 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.150 | 80 | 0.218 | 7.49 | 0.190 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 3 | 3.500 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.190 | 80 | 0.300 | 15.29 | 0.279 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 3 1/2 | 4.000 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.208 | 80 | 0.318 | 18.65 | 0.319 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 4 | 4.500 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.226 | 80 | 0.337 | 22.35 | 0.359 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 6 | 6.625 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.302 | 80 | 0.432 | 42.62 | 0.529 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 8 | 8.625 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.373 | 80 | 0.500 | 64.72 | 0.688 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 10 | 10.750 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.449 | 80 | 0.594 | 96.11 | 0.858 |
| 45 | 661.50 | 420 | 788 | 14 | 14.000 | ASTM A106-84a GRADO A | 9.000 | 0.065 | 0.4 | 0.565 | 80 | 0.750 | 158.31 | 1.117 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 1/2 | 0.840 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.088 | 40 | 0.108 | 1.26 | 0.067 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 3/4 | 1.050 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.093 | 40 | 0.113 | 1.69 | 0.084 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 1 | 1.315 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.100 | 40 | 0.133 | 2.50 | 0.105 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 1 1/2 | 1.900 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.116 | 40 | 0.145 | 4.05 | 0.152 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 2 | 2.375 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.129 | 40 | 0.154 | 5.45 | 0.190 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 3 | 3.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.159 | 40 | 0.216 | 11.30 | 0.279 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 3 1/2 | 4.000 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.173 | 40 | 0.226 | 13.59 | 0.319 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 4 | 4.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.186 | 40 | 0.237 | 16.10 | 0.359 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 6 | 6.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.244 | 40 | 0.280 | 28.30 | 0.529 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 8 | 8.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.298 | 40 | 0.322 | 42.59 | 0.688 |
| 45 | 661.50 | 200 | 392 | 10 | 10.750 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.355 | 40 | 0.365 | 60.39 | 0.858 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 1 | 1.050 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.084 | 40 | 0.113 | 1.69 | 0.084 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 1 | 1.315 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.089 | 40 | 0.133 | 2.50 | 0.105 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 1 1/2 | 1.900 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.099 | 40 | 0.145 | 4.05 | 0.152 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 2 | 2.375 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.108 | 40 | 0.154 | 5.45 | 0.190 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 3 | 3.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.128 | 40 | 0.216 | 11.30 | 0.279 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 3 1/2 | 4.000 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.137 | 40 | 0.226 | 13.59 | 0.319 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 4 | 4.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.146 | 40 | 0.237 | 16.10 | 0.359 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 6 | 6.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.185 | 40 | 0.280 | 28.30 | 0.529 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 8 | 8.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.221 | 40 | 0.322 | 42.59 | 0.688 |
| 30 | 441.00 | 325 | 617 | 10 | 10.750 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.260 | 40 | 0.365 | 60.39 | 0.858 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 3/4 | 1.050 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.075 | 40 | 0.113 | 1.69 | 0.084 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 1 | 1.315 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.077 | 40 | 0.133 | 2.50 | 0.105 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 1 1/2 | 1.900 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.082 | 40 | 0.145 | 4.05 | 0.152 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 2 | 2.375 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.087 | 40 | 0.154 | 5.45 | 0.190 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 3 | 3.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.097 | 40 | 0.216 | 11.30 | 0.279 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 3 1/2 | 4.000 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.101 | 40 | 0.226 | 13.59 | 0.319 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 4 | 4.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.106 | 40 | 0.237 | 16.10 | 0.359 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 6 | 6.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.125 | 40 | 0.280 | 28.30 | 0.529 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 8 | 8.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.144 | 20 | 0.250 | 33.36 | 0.688 |
| 15 | 220.50 | 300 | 572 | 10 | 10.750 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.163 | 20 | 0.250 | 41.82 | 0.858 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 3/4 | 1.050 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.069 | 40 | 0.113 | 1.69 | 0.084 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 1 | 1.315 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.071 | 40 | 0.133 | 2.50 | 0.105 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 1 1/2 | 1.900 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.073 | 40 | 0.145 | 4.05 | 0.152 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 2 | 2.375 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.075 | 40 | 0.154 | 5.45 | 0.190 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 3 | 3.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.080 | 40 | 0.216 | 11.30 | 0.279 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 3 1/2 | 4.000 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.082 | 40 | 0.226 | 13.59 | 0.319 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 4 | 4.500 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.084 | 40 | 0.237 | 16.10 | 0.359 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 6 | 6.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.093 | 40 | 0.280 | 28.30 | 0.529 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 8 | 8.625 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.102 | 20 | 0.250 | 33.36 | 0.688 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 10 | 10.750 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.111 | 20 | 0.250 | 41.82 | 0.858 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 12 | 12.750 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.119 | 20 | 0.250 | 49.78 | 1.017 |
| 7 | 102.90 | 200 | 392 | 20 | 20.000 | ASTM A53-84a GRADO A TIPO E | 12.000 | 0.065 | 0.4 | 0.150 | 20 | 0.375 | 117.24 | 1.596 |

Otro elemento importante en el diseño del sistema de distribución son las trampas y drenajes, los que se colocan preferiblemente en los cambios de dirección verticales.

Con la disposición de las tuberías ya concluida procedemos al anclaje del sistema. Para ello, se determinó los puntos más convenientes para las fijaciones en concordancia con las estructuras existentes y luego se determinó la ubicación de las juntas de expansión para absorber la dilatación o contracción de los tubos en cada tramo anclado. Las fuerzas producidas por la dilatación o contracción propiamente dichas, quedan eliminadas en las juntas de dilatación; sin embargo, puesto que la junta es un elemento que permite libre movimiento de la sección de un lado con respecto a la otra, la tubería tiene a separarse en la junta a causa de la presión interna del fluido. La fuerza de esta presión interna es transmitida hasta los anclajes produciendo reacciones en estos. Dependiendo del tipo de junta utilizada, las fuerzas de presión interna pueden ser atenuadas. En los casos en que es crítico disminuir las fuerzas al mínimo, se hace uso de las juntas autocompensadas, acodadas y directas (tipo Donahue) que, mediante un arreglo con elementos de refuerzo y tres secciones de absorción de dilatación eliminan el efecto de presión.

LISTA DE VALVULAS Y PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

| Tag. | Coord * | Canti- dad | Descripción | Sumi- nistro | DN | Presión de trabajo | Temp. de trabajo | Tipo | Observaciones |
|------|------------|---------------|-------------------|-----------------|--------|--------------------------|------------------------|-----------|--|
| AA.1 | F2 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 10" | 5 bar | 105°C | Compuerta | Cierre general agua de alimentación |
| AA.2 | F2 | 1 | Reducción | SDF | 10"-6" | 5 bar | 105°C | - | Salida de desgasificador |
| AA.3 | F2 | 5 | Válvula de cierre | SDF | 6" | 5 bar | 105°C | Compuerta | Cierre individual agua de alimentación |
| AA.4 | D10 | 2 | Válvula de cierre | SDF | 6" | 5 bar | 105°C | Compuerta | Alimentación de bombas |
| AA.6 | C9 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 1" | 5 bar | 175°C | Globo | Alimentación del atemperador |

* Las coordenadas están referidas al plano PR-2.

VALVULAS Y DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE VAPOR A 30 bar Y 15 bar

| Tag. | Coord * | Canti- dad | Descripción | Sumi- nistro | DN | Presión de trabajo | Temp. de trabajo | tipo | Observaciones |
|--------|------------|---------------|------------------------------------|-----------------|--------|-----------------------|---------------------|-------|---|
| V1.13 | C9 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 6" | 5 bar | 175°C | Globo | Vapor para precalentador a.a. desde el sistema existente |
| V3.1 | D10 | 1 | Válvula de segu- ridad | SDF | 3 1/2" | 30 bar | 325°C | --- | Válvula de Seguridad para el ducto de alimentación del sistema de 30 bar . Capacidad: 25 TM/h . Presión de descarga: 34.1 Bar abs . Temperatura del vapor 325°C |
| V3.2 | D10 | 1 | Atemperador | SDF | 1" | 30 bar | 420°C | --- | Atemperador para el vapor expandido de 45 Bar, 420°C a 30 bar * VER V4.6. Vapor de entrada: Presión: 30 bar, Temperatura: 410°C - Flujo máximo: 50 TM/h Vapor de Salida: Presión: 30 bar, Temperatura: 325°C Agua para enfriamiento: Presión: 45 bar, Temp.: 105°C o 150°C - Flujo de agua: = 3.9TM/h - Diámetro de la tubería de vapor: 6" - Diámetro de la tubería de agua: 1" |
| V3.3 | E2 | 1 | Válvula regula- dora de presión | SDF | 1" | 15 bar | 230°C | --- | Control de presión de vapor para precalentador de petróleo. Vapor de entrada: Presión: 15 bar, Temperatura: 230°C Vapor de salida: Presión: 150 psig Flujo mínimo: 254 kg/hr Cv = 1.57 gal/min |
| V3.5 | E2 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 1" | 15 bar | 175°C | Globo | Línea de vapor de atomización de Petróleo |
| V3.6 | D4 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 1 1/2" | 45 bar | 275°C | Globo | Línea de vapor de atomización de Petróleo |
| V3.6 b | B4 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 2" | 15 bar | 275°C | - | Línea de vapor de atomización de combustible |
| V3.7 | D4 | 1 | Válvula check | SDF | 2" | 45 bar | 275°C | ----- | Línea de vapor de atomización de Petróleo |
| V3.8 | C5 | 3 | Válvula de cierre | SDF | 1/2" | 15 bar | 275°C | Globo | Descarga de condensados de la línea de atomización |
| V3.9 | C5 | 1 | Trampa de vapor | SDF | 1/2" | 15 bar | 275°C | ----- | De la línea de atomización |
| V3.101 | C11 | 3 | Válvula de cierre | SDF | 1" | 30 bar | 325°C | Globo | Para trampa de vapor de tubería de 30 bar desde la estación reductora |
| V3.102 | C11 | 1 | Trampa de vapor | SDF | 1" | 30 bar | 325°C | - | Para trampa de vapor de tubería de 30 bar |
| V4.101 | C9- C10 | 3 | Válvula de cierre | SDF | 1" | 55 bar | 175°C | Globo | Estación de filtros de agua para atemperador |
| V4.102 | C9 | 1 | Filtro fino de agua | SDF | 1" | 55 bar | 175°C | - | Estación de filtros de agua para atemperador |

65

VALVULAS Y DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE VAPOR 45 bar

| Tag. | Coord * | Canti- dad | Descripción | Sumi- nistro | DN | PN | TN | tipo | Observaciones |
|---------|---------|---------------|---|-----------------|---------|--------|-------|--|--|
| V4.2 | E10 | 3 | Válvula de cierre | SDF | 8" | 45 bar | 420°C | Globo | Vapor de alimentación a cabezal desde calderas nuevas |
| V4.3 | E11 | 5 | Válvula de cierre | SDF | 1" | 45 bar | 420°C | Globo | Purga de cabezal 45 bar |
| V4.4 | E11 | 2 | trampa de vapor | SDF | 1" | 45 bar | 420°C | --- | Purga de cabezal 45 bar |
| V4.5 | D10 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 4" | 45 bar | 420°C | Globo | Estación reductora 45-30 bar |
| V4.6 | D10 | 1 | Válvula reductora; incluyendo lazos de control completo: - Controladores - Transmisores | SDF | 4" | 45 bar | 420°C | Con posicionador electro-neumático y actuador manual | <u>Válvula reductora de presión para la estación de reducción, de alimentación al Sistema de Vapor existente</u> Vapor de entrada: Presión: 45 bar, Temperatura: 420°C - Diámetro de tubería: 4" Vapor de Salida: Presión: 30 bar / 410°C - Flujo máximo: 50 TM/h Cv = 116.80 gal/min |
| V4.7 | D11 | 1 | Válvula de seguridad | SDF | 3" | 45 bar | 420°C | ----- | <u>Válvula de seguridad para el cabezal de 45 bar</u> - Capacidad 50 TM/h - Presión de descarga: 50.6 bar - Temperatura del vapor: 420°C |
| V4.8 | D11 | 2 | Válvula cierre | SDF | 8" | 45 bar | 420°C | Globo | Alimentación nuevas turbinas |
| V4.11 | E10 | 1 | Junta de expansión | SDF | 8" | 45 bar | 420°C | Fuelle | Carrera mínima 200 mm |
| V4.12 | D10 | 2 | Válvula de cierre | SDF | 4" | 45 bar | 420°C | Globo | By pass estación reductora de presión de 45 a 30 bar |
| V4.12 a | D10 | 1 | Reducción | SDF | 6" a 4" | 45 bar | 420°C | - | Estación reductora 45 bar a 30 bar |
| V4.15 | D11 | 1 | Válvula de Venteo | SDF | 2" | 45 bar | 420°C | Globo | Venteo del cabezal |
| V4.20 | D7 | 1 | Válvula de control vapor al aire | SDF | 2" | 45 bar | 420°C | Neumática, con posicionador neumático | <u>Válvula de control para descarga de vapor de 45 bar al aire, durante el arranque de la caldera</u> Vapor de entrada: Presión: 45 bar, Temperatura: 420°C Salida al silenciador: presión atmosférica Flujo mínimo: 8.3 TM/h |
| V4.21 | D7 | 3 | Válvula de cierre | SDF | 2" | 45 bar | 420°C | Compuerta | By pass de válvula neumática |
| V4.22 | D10 | 1 | Junta de expansión | SDF | 4" | 30 bar | 325°C | - | Carrera mínima 200 mm |
| V4.23 | D7 | 1 | Válvula check | SDF | 1" | 55 bar | 175°C | Globo | Alimentación del atemperador |
| V4.23 a | D11 | 1 | Válvula de cierre | SDF | ½" | 45 bar | 420°C | Globo | Para manómetro |
| V4.100 | E6 | 1 | Válvula de cierre | SDF | 2 1/2" | 45 bar | 420°C | Globo | Vapor para soplador de hollín |

* Las coordenadas están referidas al plano PR-2.

| Tag. | Cantidad | Descripción | Suministro | DN (pulg) | PN (bar) | TN (°C) | Longitud (m) | Material | Observaciones |
|-------|----------|-----------------|------------|--------------|-------------|------------|-----------------|----------|---------------------------------------|
| AA.11 | 2 | Bridas ciegas | SDF | 2 | 150 LB | 175°C | | 1 | Retorno futuras bombas a.a. |
| AA.12 | 2 | Bridas ciegas | SDF | 1 | 900 LB | 175°C | | 1 | Futura conexión agua para atemperador |
| T1.3 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | 1.55 | 1 | Alimentación sistema actual |
| T1.4 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 0.55 | 1 | Llegada de vapor de futura caldera 1 |
| T1.5 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | 0.40 | 1 | Llegada de vapor de caldera 2 |
| T1.6 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | 0.10 | 1 | Estación reductora 45-30 |
| T1.7 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | 1.20 | 1 | By-pass estación reductora |
| T1.8 | 2 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | 0.50 | 1 | By-pass estación reductora |
| T1.10 | 1 | Tubo 6" SCH 40 | SDF | 6 | 30 | 325 | 11.25 | 2 | Salida estación reductora |
| T1.12 | 1 | Tubo 6" SCH 40 | SDF | 6 | 30 | 325 | 4.00 | 2 | Salida estación reductora |
| T1.13 | 1 | Tubo 6" SCH 40 | SDF | 6 | 30 | 325 | 2.00 | 2 | Salida estación reductora |
| T1.15 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 0.40 | 1 | Llegada caldera N° 2 |
| T1.17 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 1.15 | 1 | Llegada caldera N° 2 |
| T1.18 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 3.55 | 1 | Llegada caldera N° 2 |
| T1.22 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 3.50 | 1 | Salida caldera 2 |
| T1.23 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 0.40 | 1 | Salida de caldera 2 |
| T1.24 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 0.45 | 1 | Salida de caldera 2 |
| T1.26 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | 0.35 | 1 | Vapor de aire Caldera 2 |
| T1.29 | 1 | Tubo 2" SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | 0.70 | 1 | Vapor de aire Caldera 2 |
| T1.31 | 2 | Tubo 2" SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | 0.35 | 1 | Vapor de aire Caldera 2 |
| T1.40 | 1 | Tubo 8" SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | 0.60 | 1 | Llegada vapor futura caldera 3 |
| T1.41 | 2 | Tubo 10" SCH 80 | SDF | 10 | 45 | 420 | 0.20 | 1 | Salida vapor cabezal 45 |
| T2.3 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | 0.25 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.4 | 1 | Tubo 10" SCH 20 | SDF | 10 | 150 LB | 100 | 7.00 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.5 | 1 | Tubo 10" SCH 20 | SDF | 10 | 150 LB | 100 | 0.85 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.6 | 1 | Tubo 10" SCH 20 | SDF | 10 | 150 LB | 100 | 2.00 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.7 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | 9.40 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.8 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | 1.85 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.9 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | 2.65 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.10 | 2 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | 0.60 | 2 | Agua de alimentación |
| T2.11 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 1.50 | 2 | Salida bombas a.a. |
| T2.12 | 2 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 0.15 | 2 | Salida bombas |

| | | | | | | | | | |
|-------|---|------------------|-----|-----|----|-----|-------|---|--------------------------------------|
| T2.12 | 2 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 0.15 | 2 | Salida bombas |
| T2.16 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 0.66 | 2 | Salida bombas |
| T2.17 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 4.30 | 2 | Salida bombas |
| T2.19 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 0.80 | 2 | Salida bombas |
| T2.20 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 4.30 | 2 | Salida bombas |
| T2.21 | 1 | Tubo 4" SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | 9.70 | 2 | Salida bombas |
| T2.27 | 2 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.30 | 2 | Control de caudal a.a. |
| T2.28 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 2.00 | 2 | Control de caudal a.a. |
| T2.29 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.20 | 2 | Control de caudal a.a. |
| T2.30 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.85 | 2 | Control de caudal de a.a. |
| T2.31 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.05 | 2 | Control de caudal de a.a. |
| T2.32 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.85 | 2 | Control de caudal de a.a. |
| T2.33 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 0.85 | 2 | Control de caudal a.a. |
| T2.36 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 5 | 175 | 0.60 | 2 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.37 | 2 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 45 | 175 | 0.30 | 2 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.38 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 5 | 175 | 1.20 | 1 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.39 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 5 | 175 | 13.80 | 2 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.40 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 0.15 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.41 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 0.60 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.42 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 0.50 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.44 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 0.15 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.45 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 5 | 175 | 5.10 | 2 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.46 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 3.00 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.47 | 1 | Tubo 6" SCH 20 | SDF | 6 | 5 | 175 | 5.10 | 2 | Vapor para precalentador a.a. |
| T2.48 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 1.15 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.50 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 1.10 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.51 | 1 | Tubo 1.5" SCH 40 | SDF | 1.5 | 15 | 275 | 2.25 | 2 | Vapor de atomización |
| T2.52 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 3.10 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.54 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 0.95 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.57 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 7.35 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.59 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 2.40 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.61 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 15 | 275 | 2.55 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.64 | 1 | Tubo 1" SCH 40 | SDF | 1 | 15 | 275 | 0.20 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |

| | | | | | | | | | |
|---------|---|------------------|-----|-------|--------|-----|------|---|--------------------------------------|
| T2.66 | 1 | Tubo 1" SCH 40 | SDF | 1 | 15 | 275 | 0.45 | 2 | Vapor para precalentador de petróleo |
| T2.70 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 4.00 | 2 | Suministro de agua para atemperador |
| T2.71 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 2.90 | 2 | Suministro de agua para atemperador |
| T2.72 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 4.30 | 2 | Agua para atemperador |
| T2.73 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 1.00 | 2 | Agua para atemperador |
| T2.74 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 0.60 | 2 | Agua para atemperador |
| T2.75 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 3.00 | 2 | Agua para atemperador |
| T3.1.2 | 3 | Codo SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | | 3 | Alimentación sistema actual |
| T3.1.3 | 2 | Tee SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | | 3 | Alimentación sistema actual |
| T3.1.4 | 1 | Reducción SCH 80 | SDF | 6-4 | 45 | 420 | | 3 | Salida estación reductora |
| T3.1.1 | 2 | Codo SCH 80 | SDF | 10 | 45 | 420 | | 3 | Salida vapor de cabezal 45 |
| T3.1.16 | 3 | Codo SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | | 3 | Llegadas caldera 1 y 2 |
| T3.1.17 | 1 | Tee SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | | 3 | Derivación vapor de aire, caldera 2 |
| T3.1.18 | 1 | Reducción SCH 80 | SDF | 8-4-2 | 45 | 420 | | 3 | Vapor al aire Caldera 2 |
| T3.1.19 | 2 | Codo SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | | 3 | Vapor al aire Caldera 2 |
| T3.1.20 | 2 | Tee SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | | 3 | Vapor de aire Caldera 2 |
| T3.1.28 | 2 | Brida SCH 80 | SDF | 10 | 45 | 420 | | 3 | Vapor para turbinas |
| T3.1.29 | 9 | Brida SCH 80 | SDF | 8 | 45 | 420 | | 3 | Control de caudal a.a. |
| T3.1.30 | 8 | Brida SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 420 | | 3 | Vapor al aire |
| T3.1.31 | 4 | Brida SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 420 | | 3 | Estación reductora de presión |
| T3.1.32 | 2 | Brida SCH 80 | SDF | 3.5 | 30 | 275 | | 3 | Válvula de seguridad 30 |
| T3.2.1 | 1 | Brida SCH 20 | SDF | 10 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.2 | 1 | Reducción SCH 40 | SDF | 10-6 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.3 | 3 | Codo SCH 40 | SDF | 10 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.4 | 5 | Codo SCH 40 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.5 | 1 | Tee SCH 40 | SDF | 6 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.6 | 6 | Codo SCH 40 | SDF | 4 | 45 | 175 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.7 | 1 | Tee SCH 40 | SDF | 4 | 150 LB | 100 | | 3 | Agua de alimentación |
| T3.2.8 | 1 | Reducción SCH 40 | SDF | 4-2 | 45 | 175 | | 3 | Para atemperador |
| T3.2.9 | 1 | Reducción SCH 80 | SDF | 4-3 | 45 | 175 | | 2 | Control caudal a.a. |
| T3.2.10 | 4 | Tee SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | | 3 | Control de caudal a.a. |
| T3.2.11 | 5 | Codo SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | | 3 | Control de caudal a.a. |
| T3.2.12 | 3 | Brida SCH 80 | SDF | 4 | 45 | 175 | | 3 | Salida bomba a.a. |

5.4.4 SISTEMA DE PURGAS Y CONDENSADOS

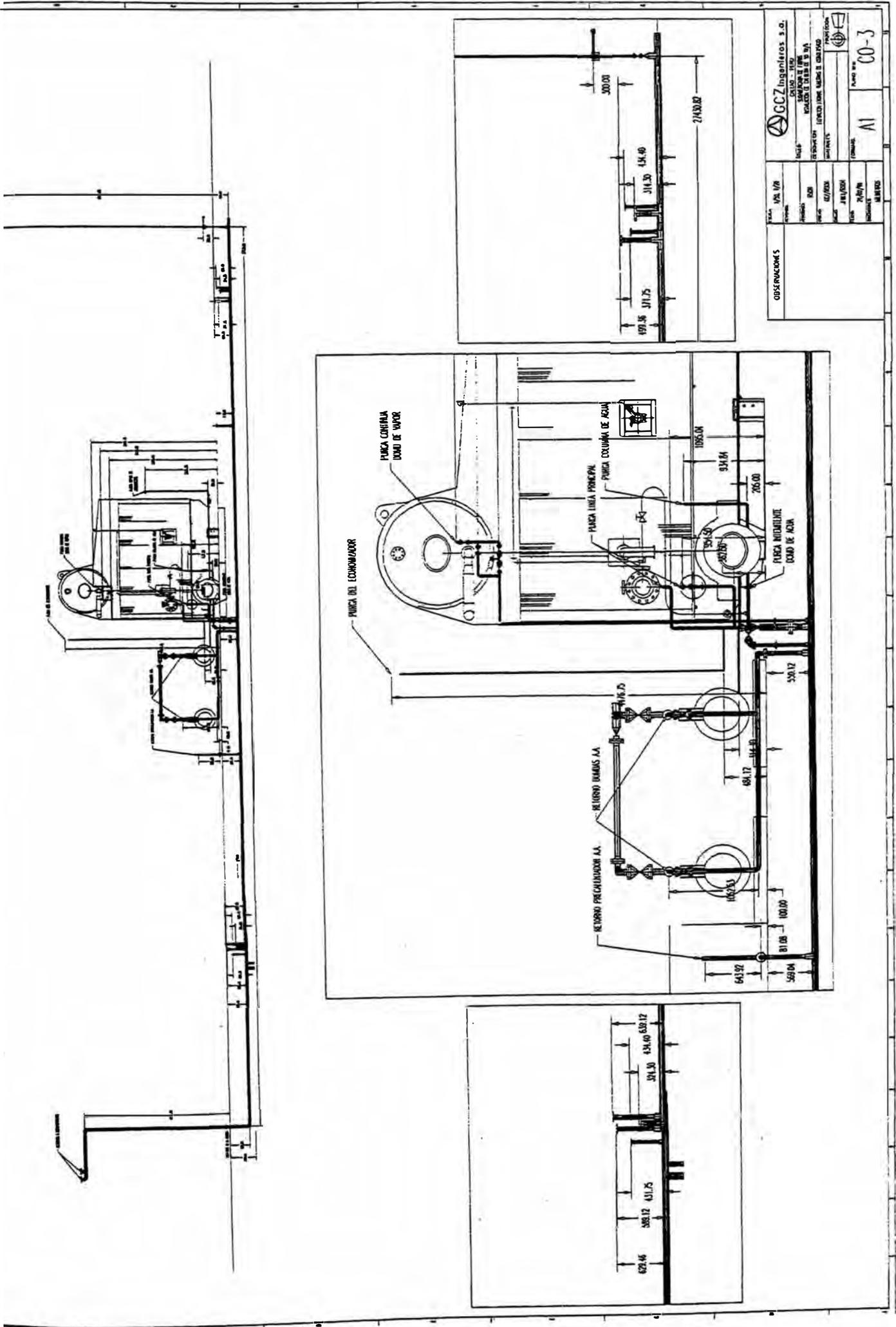
Existen varios tipos de condensados que deben ser recolectados y enviados a sus respectivos destinos:

- Purgas del domo de vapor de la caldera
- Purgas del domo inferior de la caldera
- Condensados del vapor de calentamiento del economizador de agua de alimentación
- Condensados de vapor de calentamiento del sistema de bombas de combustible.
- Purgas del soplador de hollín.
- Purgas de las diversas trampas y colectores de condensados de la caldera y del sistema de distribución de tuberías.

Todas estas purgas y retornos son dirigidos a 4 grandes colectores:

- Colector general de condensados y drenajes.
- Colector de purgas de los domos de las calderas.
- Colector de retornos de bombas de alimentación.
- Colector de condensados de precalentadores de agua de alimentación.

A continuación se presentan a escala reducida los planos CO-0, CO-1, CO-2, y CO-3 con la disposición de las tuberías de purgas y condensados, el isométrico de las mismas con cada elemento marcado; en la tabla 5.12 el metrado respectivo.



| | | | |
|---------------|---------|--|----------------------------|
| OBSERVACIONES | | GCZ Ingenieros S.A. CARRERA 100 No. 100-100 BOGOTÁ - COLOMBIA | |
| FECHA | 1/11/78 | PROYECTO | SEMPERINO DE 1000 |
| DISEÑO | BOB | REVISOR | INGENIERO EN MANTENIMIENTO |
| ELABORADO | GCZ/BOB | APROBADO | INGENIERO EN MANTENIMIENTO |
| TITULO | PLANO | ESCALA | 1:1 |
| INDICADO | BOB | PROYECTO | CO-3 |

TABLA 5.12.- METRADO DE LOS SISTEMAS DE PURGAS Y CONDENSADOS

LISTA DE VALVULAS Y DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE PURGAS Y CONDENSADOS

REFERIRSE AL PLANO PR2

| Tag. | Coord | Canti- dad | Descripción | DN (pulg) | PN (bar) | TN (°C) | Material | Observaciones |
|-------|-------|---------------|-------------------|--------------|-------------|------------|----------|---|
| CC7 | D2 | 3 | Brida ciega SCH80 | 1 | 45 | 420 | | Brida ciega para futuro tanque flash |
| CC6 | D2 | 2 | Válvula de cierre | 1 | 45 | 420 | | Purga del domo superior de vapor; condensados del cabezal |
| CC7-A | G5 | 2 | Brida ciega | 1 1/2 | 15 | 420 | | Colector de purgas futuro |
| CC8 | G8 | 2 | Brida ciega | 2 | 5 | 175 | | Colector retorno de precalentador futuro |
| CC9 | G7 | 2 | Brida ciega | 3 | 5 | 175 | | Colector de condensados |
| AA.11 | G9 | 2 | Brida ciega | 2 | 5 | 175 | | Retorno de Bombas de alimentación |
| CC.20 | F1 | 1 | Válvula de cierre | 3 | 5 | 175 | | Retorno de precalentadores a.a. |
| CC.21 | F1 | 1 | Válvula de cierre | 3 | 5 | 175 | | Retorno de bombas a.a. |
| CC.22 | D8 | 1 | Válvula de cierre | 2 | 5 | 175 | | Retorno de precalentador a.a. |
| CC.23 | D8 | 1 | Válvula de check | 2 | 5 | 175 | | Retorno de precalentador a.a. |
| CC.24 | D9 | 1 | Válvula de cierre | 2 | 55 | 105 | | Retorno de bombas a.a. |

TABLA 5.12.- METRADO DE LOS SISTEMAS DE PURGAS Y CONDENSADOS

LISTA DE ACCESORIOS DEL SISTEMA DE PURGAS Y CONDENSADOS

REFERIRSE AL PLANO CO-0

| Tag. | Coord. | Canti- dad | Descripción | DN (pulg) | PN (bar) | TN (°C) | Material | Observaciones |
|--------|--------|---------------|--------------|--------------|-------------|------------|----------|---|
| T3.4.1 | | 7 | Codos | 1 | 45 | 420 | 3 | Vapor a la línea de purga del domo superior de la Caldera 2 |
| T3.4.2 | | 3 | Tees | 1 | 45 | 420 | 3 | Vapor a la línea de purga del domo superior de la Caldera 2 |
| T3.4.3 | | 12 | Brida SCH 80 | 1 | 45 | 420 | 3 | Vapor a la línea de purga del domo superior de la Caldera 2 |
| T3.4.4 | | 4 | Brida SCH 80 | 1 1/2 | 45 | 420 | 3 | Vapor a la línea de purga del domo superior de la Caldera 2 |
| T3.4.5 | | 3 | Codos | 1 1/2 | 45 | 420 | 3 | Vapor a la línea de purga del domo inferior de la Caldera 2 |
| T3.5.1 | | 1 | Brida SCH 10 | 1 | 1 | 100 | 3 | Condensado de la Caldera 2 |
| T3.5.2 | | 2 | Codos | 1 | 1 | 100 | 3 | Condensado de la Caldera 2 |
| T3.5.3 | | 4 | Brida SCH 10 | 3/4 | 1 | 100 | 3 | Condensado del atomizador de petróleo |
| T3.5.4 | | 12 | Codos | 3/4 | 1 | 100 | 3 | Condensado del atomizador de petróleo |
| T3.5.5 | | 9 | Codos | 2 | 45 | 420 | 3 | Condensado de las bombas |
| T3.5.6 | | 2 | Brida SCH 80 | 2 | 45 | 420 | 3 | Condensado de las bombas |
| T3.5.7 | | 10 | Brida SCH 20 | 2 | 150lb | 100 | 3 | Condensado del precalentador |
| T3.5.8 | | 4 | Codos | 2 | 150lb | 100 | 3 | Condensado del precalentador |

TUBERIAS Y ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE PURGAS Y CONDENSADOS (VER PLANO CO-0)

| Tag. | Cantidad | Descripción | Sumin. | DN (pulg) | PN (bar) | TN (°C) | Longitud (m) | Mat. | Observaciones |
|--------|----------|--------------------|--------|--------------|-------------|------------|-----------------|------|--------------------------------|
| T2.76 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 0.20 | 2 | purga domo superior |
| T2.78 | 2 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 0.25 | 2 | purga domo superior |
| T2.79 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 0.42 | 2 | purga domo superior |
| T2.80 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 1.00 | 2 | purga domo superior |
| T2.81 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 3.04 | 2 | purga domo superior |
| T2.82 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 14.46 | 2 | purga domo superior |
| T2.83 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 175 | 0.58 | 2 | purga domo superior |
| T2.84 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 10.10 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.85 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 9.40 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.86 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 4.85 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.87 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.62 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.88 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.29 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.89 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.30 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.90 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.23 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.91 | 2 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.50 | 2 | purgas futuras cald.1 y 3 |
| T2.92 | 2 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.60 | 2 | purgas futuras cald.1 y 3 |
| T2.93 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 1.85 | 2 | purga atomizador del quemador |
| T2.94 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.47 | 2 | purga atomizador del quemador |
| T2.94a | 2 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.30 | 2 | purga atomizador del quemador |
| T2.95 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 3.95 | 2 | purga atomizador del quemador |
| T2.96 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.25 | 2 | purga atomizador del quemador |
| T2.97 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.73 | 2 | purga columna de agua |
| T2.98 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 1.55 | 2 | purga columna de agua |
| T2.99 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.17 | 2 | purga columna de agua |
| T2.100 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 3.90 | 2 | purga columna de agua |
| T2.101 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.53 | 2 | purga columna de agua |
| T2.102 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.40 | 2 | purga columna de agua |
| T2.103 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.45 | 2 | purga domo inferior |
| T2.104 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.08 | 2 | purga domo inferior |
| T2.105 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 5.98 | 2 | purga domo inferior |
| T2.106 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.10 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.107 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.45 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.108 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.76 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.109 | 1 | Tubo 1" SCH 20 | SDF | 1 | 5 | 175 | 0.31 | 2 | purga linea principal de vapor |
| T2.110 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.15 | 2 | purga de condensados |
| T2.111 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.20 | 2 | purga columna de agua |
| T2.112 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.45 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.113 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.48 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.114 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.31 | 1 | purga linea principal de vapor |
| T2.118 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 9.80 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.120 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.80 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.121 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 9.50 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.122 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 4.70 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.123 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.10 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.124 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.50 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.125 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.50 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.126 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 3.95 | 1 | purga cabezal principal |

TUBERIAS Y ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE PURGAS Y CONDENSADOS (VER PLANO CO-0)

| Tag. | Cantidad | Descripción | Sumin. | DN (pulg) | PN (bar) | TN (°C) | Longitud (m) | Mat. | Observaciones |
|---------|----------|--------------------|--------|--------------|-------------|------------|-----------------|------|------------------------------------|
| T2.126a | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.18 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.127 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.35 | 1 | purga cabezal principal |
| T2.128 | 2 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.25 | 1 | purga cabezal principal |
| T2.129 | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 1.50 | 1 | purga cabezal principal |
| T2.129a | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 1.70 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.130 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.70 | 2 | retorno a.a |
| T2.130a | 1 | Tubo 1" SCH 80 | SDF | 1 | 45 | 420 | 0.10 | 1 | purga cabezal principal |
| T2.131 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 1.80 | 2 | retorno a.a |
| T2.132 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.60 | 2 | retorno a.a |
| T2.133 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 3.00 | 2 | retorno a.a |
| T2.134 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.40 | 2 | retorno a.a |
| T2.138 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 9.80 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.139 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 9.40 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.140 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.15 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.142 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 9.80 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.143 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 5.70 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.144 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.70 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.145 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 5.10 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.146 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 5.50 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.147 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.70 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.148 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 1.40 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.149 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.19 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.150 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.80 | 2 | retorno a.a |
| T2.151 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.50 | 2 | retorno a.a |
| T2.152 | 2 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.40 | 2 | retorno a.a |
| T2.152a | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.60 | 2 | retorno a.a |
| T2.152b | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.85 | 2 | purga de condensados |
| T2.153 | 1 | Tubo 3/4" SCH 20 | SDF | 3/4 | 5 | 175 | 0.40 | 2 | purga de condensados |
| T2.155 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.19 | 2 | colect. de retorno a.a |
| T2.156 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 4.19 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.157 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 1.00 | 2 | retorno a.a |
| T2.159 | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.55 | 2 | retorno a.a |
| T2.160 | 1 | Tubo 3" SCH 80 | SDF | 3 | 45 | 175 | 1.40 | 2 | colect. de retorno precalent. a.a. |
| T2.161 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.10 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.162 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 15.50 | 2 | colect. de condensados caldera 2 |
| T2.162a | 1 | Tubo 2" SCH 40 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.60 | 2 | retorno a.a |
| T2.164 | 1 | Tubo 1 1/2" SCH 40 | SDF | 1 1/2 | 45 | 175 | 0.35 | 2 | purga domo inferior |
| T2.170 | 1 | Tubo 2" SCH 80 | SDF | 2 | 45 | 175 | 0.20 | 2 | colect. gnrl. de purgas |
| T2.180 | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.40 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.180a | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.25 | 2 | colect. de drenajes |
| T2.180b | 1 | Tubo 3" SCH 20 | SDF | 3 | 5 | 175 | 0.15 | 2 | colect. de drenajes |

LOS MATERIALES INDICADOS SON LOS SIGUIENTES:

- 1 ASTM A106-84a GRADO A
- 2 ASTM A53-84a GRADO A tipo E
- 3 ASTM A105-84c GRADO II

5.4.5 CABEZAL DE ALTA PRESIÓN

Su función es recolectar el vapor procedente de las nuevas calderas y distribuirlo hacia el sistema existente y hacia las nuevas turbinas mediante dos tuberías que saldrán por encima del patio de calderas, atravesando el edificio de la planta de energía hasta la casa de máquinas de los nuevos equipos.

El mayor flujo de vapor en cualquier instante será 100TM/hr de vapor a 420°C y 45 bar con densidad 15.22 kg/m³, lo que da un caudal de 1.83m³/s. Considerando el límite máximo de velocidad de 24 m/s, la sección del cabezal es 311 mm como mínimo. El diámetro normalizado inmediatamente superior corresponde a un tubo de 14" de diámetro nominal. El espesor se calcula de manera similar al resto de las tuberías y derivaciones, con lo cual, finalmente determinados que el tubo utilizado para el cabezal es de 14" cédula 80.

Con las dimensiones del tubo definidas, determinamos exactamente la posición de cada una de las derivaciones de la manera más adecuada para las conexiones de los sistemas concurrentes al cabezal, respetando las longitudes y espaciamentos mínimos recomendados por la norma ES-7 de "PIPE FABRICATION INSTITUTE" (ver [3], Cáp. 7) y luego, calculamos los refuerzos requeridos de acuerdo al procedimiento de cálculo de aberturas reforzadas en recipientes a presión ASME CODE SECTION VIII, DIVISION 1, PRESSURE VESSELS. Se ha considerado en todos los casos refuerzos tipo poncho, por la facilidad constructiva frente a un refuerzo integral de relleno de soldadura. A continuación detallamos las derivaciones:

1. **Derivaciones 1, 2 y 3, suministro desde calderas.**- Receptoras del vapor proveniente de la caldera N° 2 y del las futuras 1 y 3. Ubicación y orientación de acuerdo a la posición de las calderas. El cabezal tendrá libetas de desplazamiento en sentido longitudinal con lo que se anulan las fuerzas de dilatación provenientes de la derivaciones en este sentido (Derivaciones 1 y 2). En el caso de la N° 3, que se conecta en dirección transversal de abajo hacia arriba, tendrá que utilizarse una junta de expansión auto-compensada para evitar que este ramal transmita esfuerzos de dilatación al cabezal.
2. **Derivación 4, suministro al sistema existente.**- Esta derivación abastecerá al sistema existente a través de una estación reductora de presión y un atemperador que acondicionarán el vapor desde los 45 bar y 420°C a 30 bar y 325°C, conectándose al mismo en el punto en que la antigua calera N° 2 abastecía al sistema. La disposición de este ramal será tal que no transmitirá esfuerzos de dilatación al cabezal, haciendo uso de juntas de dilatación ubicadas adecuadamente entre los puntos de fijación de los ductos.
3. **Derivaciones para el suministro de las turbinas de vapor.**- Las turbinas estarán ubicadas hacia atrás de la planta de energía, tal como se muestra en la figura N° 5.1, sobre un espacio actualmente desocupado. El camino más adecuado para los ductos es cruzando la nave de la planta de energía por encima del techo; la longitud total del recorrido es de 44.50m aproximadamente. En dicho recorrido se presentan dos cambios de dirección en el plano vertical (al pasar justamente por encima de las vigas del techo) que serán

aprovechados para colocar las juntas de expansión y los puntos de fijación de los tubos. El diámetro de los ductos es de 8" y se utilizarían juntas de expansión auto-compensadas; sin embargo, también se evaluó la alternativa de instalar juntas tipo U con doble cambio de dirección. En las tablas 8 y 9 de "Piping Handbook" [3], capítulo 4, páginas 4-94 y 4-95 se tiene las longitudes permisibles del tramo en que se instalaría la junta y las reacciones en los extremos de la misma, las cuales en este caso no se deben solo a la presión interna sino a la dilatación de la tubería, considerando un diámetro nominal de 8" cédula 80. Los datos de la tabla mencionada se han obtenido de tablas de cálculo presentadas por John E. Brock en el capítulo 4 del "Piping Handbook" [3] para tuberías de todos los diámetros nominales con cédula 80 y con esfuerzo permisible de 12,000 psi.

4. **Derivación para la válvula de seguridad.**- En esta derivación se colocará la válvula de seguridad del cabezal, la cual deberá tener capacidad suficiente para la descarga total de una caldera en caso de falla. Las condiciones del vapor a descargar son 686 psi y 788°F; por lo tanto, la válvula de seguridad para 100,000 Lb/hr deberá tener un diámetro de 3 ½" como mínimo.
5. **Derivación para venteo del cabezal.**- Se usará en los arranques, para eliminar el aire que pudiera haber ingresado después de una parada importante. El diámetro será de 2".

6. **Derivación para manómetro.**- Se utilizará para colocar el manómetro que indicará la presión existente en el cabezal. El diámetro será de $\frac{1}{2}$ ".
7. **Derivación para la purga de condensado.**- Estará conformada en primer lugar por un acumulador o bolsa recolectora de 8" de diámetro desde la cual se evacuará el condensado mediante una derivación de 1" que se conectara con la trampa de condensados ubicada en la parte inferior antes de entregar al colector general respectivo.
8. **Derivación para el serpentín de precalentamiento del domo inferior de la calera.**- Esta derivación se utilizará para el suministro de vapor del elemento mencionado para las tres calderas. El diámetro será de $1 \frac{1}{2}$ ".

Con la disposición exacta de cada una de las derivaciones del cabezal se determinó los soportes del mismo, los cuales son deslizantes en el sentido longitudinal para permitir la dilatación libre del tubo. Asimismo, se diseñó dos caballetes que forman parte de la estructura soporte del cabezal sobre el nuevo puente de tuberías. Los caballetes sirven para tomar las fuerzas de expansión de las tuberías de alimentación de las nuevas turbinas, y transmitir las directamente al puente. En la figura 5.5 se presenta un esquema de la configuración del cabezal, indicando el uso de cada una de las derivaciones. Luego, en el plano CA 1 se tiene a escala reducida el plano de fabricación del cabezal. En el anexo N° 11 están todas las hojas de cálculo de las derivaciones del cabezal.

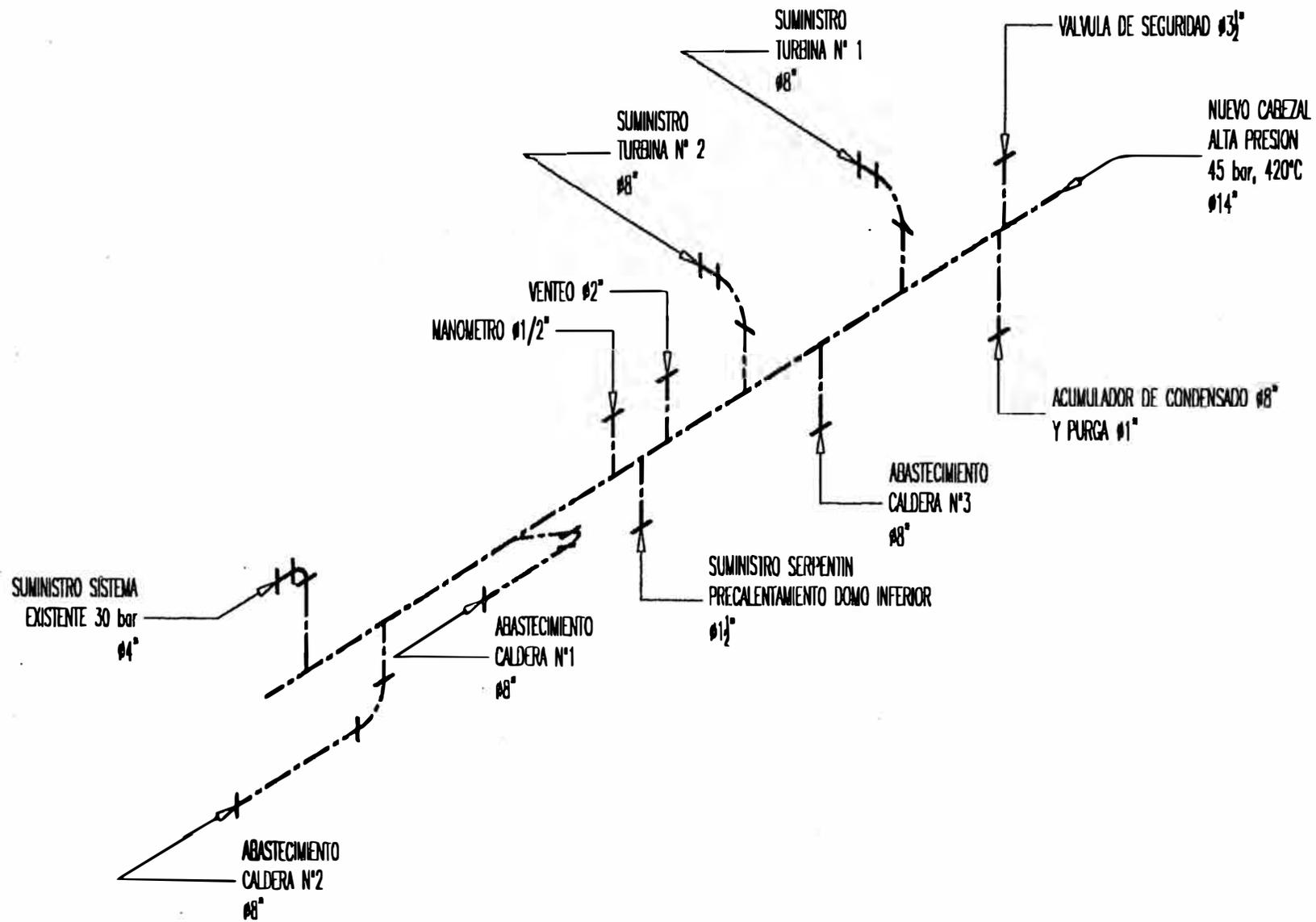


FIG. 5.5 ESQUEMA DE CONFIGURACION DEL NUEVO CABEZAL

5.4.6 ESPECIFICACIÓN NUEVO PUENTE DE TUBERÍAS

El nuevo puente de tuberías servirá en para soportar el cabezal de alta presión, sus tuberías de distribución, y las tuberías de agua de alimentación de las nuevas calderas.

A pedido de la Empresa, la estructura del nuevo puente de tuberías debe hacerse utilizando en lo posible material ya existente en la planta.

Para el cálculo correspondiente se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Peso de tuberías y accesorios a instalarse sobre el puente.
- Peso de los sistemas en operación.
- Fuerzas actuantes sobre el puente en operación
- Fuerzas actuantes sobre el puente durante las pruebas de recepción del sistema de tuberías.
- Carga portante del terreno: 1 kg/cm^2

A continuación tenemos la figura 5.6 que resume todas las fuerzas mencionadas, provenientes de las derivaciones y de los pesos de todos los sistemas concurrentes.

Con esta información se encargó al especialista estructural la verificación de los elementos existentes a usarse en el nuevo puente y la especificación de los elementos faltantes, así como el diseño de la cimentación. Los planos correspondientes se muestran en escala reducida en el anexo N°7. Los planos PU-4 y PU-5 a escala reducida mostrados en páginas siguientes, presentan el despiece del puente de tuberías, que incluye los elementos existentes reutilizables y los nuevos elementos, incluyendo los caballetes soporte del cabezal de alta.

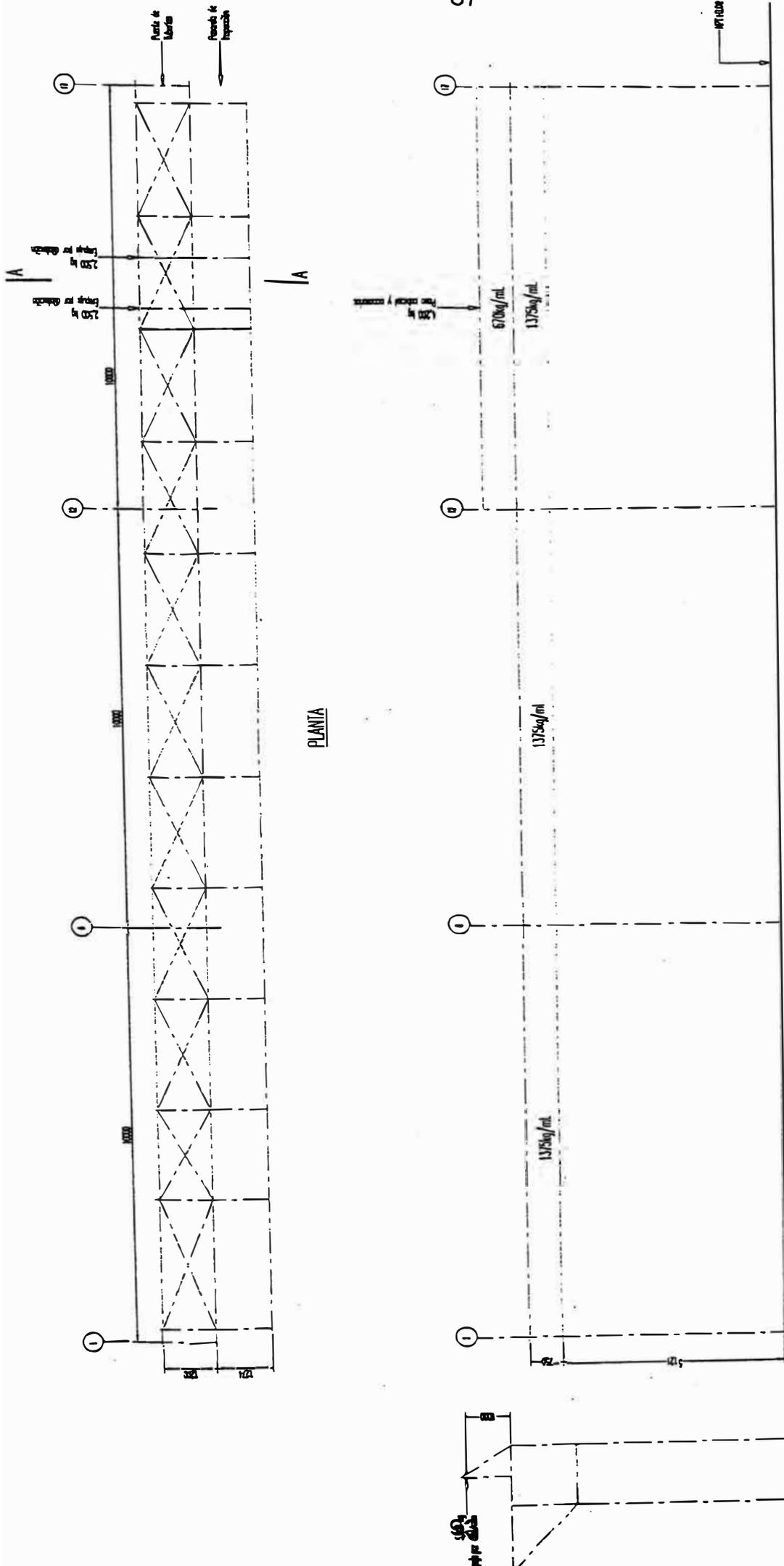


FIGURA 5.6 CARGAS SOBRE EL PUENTE DE TUBERIAS

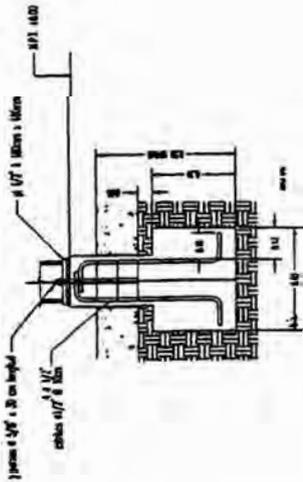
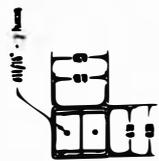
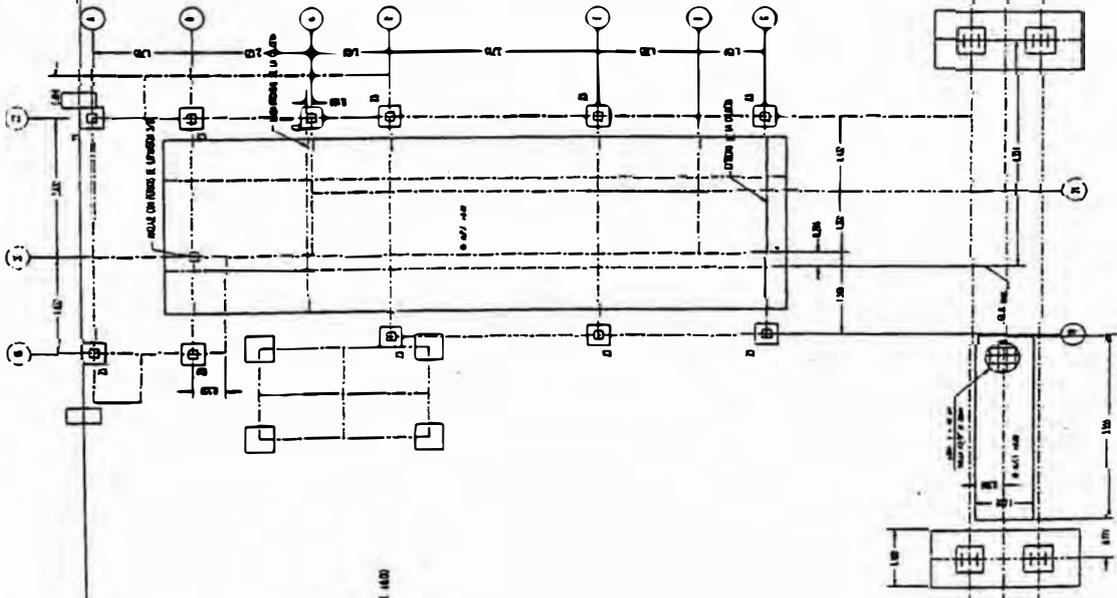
Adicionalmente al puente de tuberías se desarrolló la plataforma de servicio de la caldera, cuya finalidad es facilitar el acceso a las diversas partes de la misma y soportar los diversos ramales de tuberías que se desarrollan alrededor tales como:

- Sistema de agua de alimentación
- Estación reductora de presión
- Alimentación de vapor auxiliar para bombas de combustible y quemador
- Válvulas de seguridad de la caldera.

A continuación se presentan los planos correspondientes a escala reducida, así como la lista de materiales correspondiente:

- PT1: Cimentación
- PT2: Distribución
- PT3: Despiece

SE TOMARON 6 MUESTRAS



ZAPATA Z3
SON 10 VIGAS

OBSERVACIONES:
- El nivel de referencia N.P.I. +0.00 es el nivel de la losa existente.

TRASAPES Y EMPALMES

| | |
|------|-------|
| # | L |
| 3/8" | 2.00m |
| 1/2" | 4.00m |

DETALLES TÍPICOS DE ESTEROS

| | |
|------|-------|
| # | L |
| 3/8" | 1.50m |
| 1/2" | 2.00m |

ESPECIFICACIONES GENERALES

CONCRETO: f'c = 180 kg/cm² (según especificación)
 BARRAS: f'y = 280 kg/cm² (según especificación)
 ACERO DE REFUERZO: f'c = 280 kg/cm²
 ESTEROS: 1 cm

ITTELCO
 CALIDAD PORTANTE: 8.5 kg/cm² (según especificación)



| | | | |
|---|-------------|------|----------------|
| PIEZA | DESCRIPCION | CANT | ESPECIFICACION |
| 1 | 1/2" | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |
| INGENIEROS EN CIVIL Y ELECTRICIDAD INGENIEROS EN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA INGENIEROS EN SISTEMAS DE COMPUTACION | | | |
| PROYECTO | FECHA | HOJA | DE |
| AL | PI-1 | 1 | 1 |

| TABLA 5.13.- LISTA DE MATERIALES PLATAFORMA DE CALDERA (PLANO PT-3) | | | | |
|---|---------------------------------|------------------------|-----------------|----------|
| ITEM | DESCRIPCION | ESPECIFICACION | LONGITUD (m) | CANTIDAD |
| 1 | COL. AI 8,A22,BI 8,C22 | H 160x160 | 3 | 3 |
| 2 | COL. D18,D22,EI8,E22 | H 160x160 | 7.5 | 3 |
| 3 | COL. G18,G22 | H 160x160 | 5.1 | 2 |
| 4 | VIGA A,D,E,G | H 160x160 | 4.2 | 4 |
| 5 | VIGA E22-PUENTE,E21-PUENTE | H 120x120 | 6.45 | 2 |
| 6 | VIGA C21-E21,A22-D22 | H 120x120 | 5.25 | 2 |
| 7 | VIGA C20-G20 | H 120x120 | 8.2 | 1 |
| 8 | VIGA EI 8-GI 8 | H 120x120 | 2.95 | 1 |
| 9 | VIGA D18-EI8,D22-E22 | H 120x120 | 3.55 | 2 |
| 10 | VIGA B | H 120x120 | 5.35 | 1 |
| 11 | PASARELA DERECHA (EJE 22) | H 120x120 | 4.4 | 1 |
| 12 | PASARELA IZQ. (EJES AI 8 Y A20) | H 120x120 | 2.5 | 2 |
| 13 | PASARELAS | 1 4x4x3/8" | 2 | 2 |
| 14 | EJES F,G | 1 4x4x3/8" | 3 | 2 |
| 15 | BARANDAS | 1 3x3x1/4" | 3 | 25 |
| 16 | PISO | PL 1/8" ESTRIADA 4'x8' | | 17 |
| 17 | BASE COLUMNAS | PL1/2" x 0.18m x 0.18m | | 10 |
| 18 | ANCLAJE COLUMNAS | PERNO DIA 5/8" x 30cm | | 20 |
| 19 | ANCLAJE COLUMNAS | TUERCA DIA 5/8" | | 20 |

5.4.7 UBICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LA CIMENTACIÓN DE LAS NUEVAS TURBINAS Y DE LA CASA DE MAQUINAS

La ubicación mas adecuada para las turbinas es en un espacio desocupado vecino al área de la planta de energía, hacia el lado opuesto al que se encuentran las calderas, y la manera más fácil de llevar las tuberías de vapor desde es cabezal de alta es atravesando la planta de energía por el techo.

Al atravesar las tuberías por el techo se tiene total libertad en la ubicación de las mismas pues no hay nada que interfiera en su camino; adema de las vigas y columnas que sirven como soporte de los tubos.

El espacio escogido para las turbinas es suficiente para albergar las dos unidades, en una distribución paralela. La planificación del desarrollo del proyecto indica la instalación de la primera turbina inmediatamente después de la primera caldera. La segunda caldera vendrá en paralelo con la implementación de la ampliación de la planta de producción, después de lo cual se instalará la 2º turbina; por esta razón surgió la posibilidad de preparar dos casas de maquinas independientes para cada turbina par dosificar la inversión a realizar. En cuanto a la casa de maquinas en si, se decidió que lo más conveniente en la forma constructiva de la misma es una estructura porticada totalmente metálica, fabricada considerando la grúa puente como parte integral de la estructura, con una cobertura metálica, para lograr una fácil y rápida implementación.

Se evaluó la posibilidad de hacer una o dos estructuras independientes y se concluyo que es mucho más conveniente preparar

dos casas de maquinas idénticas, una al lado de la otra, no solo desde el punto de vista financiero sino también económicamente.

La razón de que dos casas de maquinas sean más baratas que una para las dos unidades es debido a que la luz de la viga del puente grúa se reduce a la mitad, requiriéndose elementos estructurales mucho más livianos.

De esta manera se decidió y se procedió a desarrollar el detalle de la casa de maquinas, el cual incluye la disposición de los tableros eléctricos de control y seccionamiento, la cimentación de las máquinas, la disposición de las tuberías de vapor y condensados y la plataforma soporte de los cabezales de distribución.

En el anexo N° 12 se tiene copias a escala reducida de los planos con las dimensiones de las turbinas y las especificaciones para su cimentación. Con estos planos y considerando una grúa puente de 15 toneladas, se encargó al especialista estructural lo siguiente:

- Cimentación de las maquinas
- Cimentación de la casa de maquinas
- Especificación estructural de las vigas y columnas de la

casa de maquinas, incluyendo la grúa puente.

En el anexo 12 se presenta también los planos finales a escala reducida elaborados por el especialista; a saber:

- E-1: Cimentación.
- E-2: Detalles de cimentación.
- E-3: Estructura aporticada de la casa de máquinas
- E-4: Puerta de la casa de máquinas

- E-5: Plataforma para los cabezales de vapor.
- E-6: Torre soporte para el acumulador de condensados

5.4.8 DISTRIBUCIÓN DESDE EL CABEZAL DE ALTA Y NUEVO CABEZAL DE PROCESOS PARA LA AMPLIACIÓN DE PLANTA

El proyecto en su etapa final deberá tener una configuración que permita gran flexibilidad de operación para prevenir interrupciones en el suministro a la fábrica; siendo así, el vapor a 45 bar y 420°C producido por las nuevas calderas se distribuirá desde el nuevo cabezal de alta mediante sendas tuberías que se conectarán directamente a un nuevo cabezal de distribución de procesos ubicado frente a las nuevas turbinas.

El nuevo cabezal de procesos tendrá una configuración similar al existente. Estará conformado por tres secciones, alta, media y baja presión, interconectadas por válvulas reductoras, de manera que el suministro de vapor no sea interrumpido cuando las turbinas dejen de operar.

Las secciones de media y baja presión serán abastecidas normalmente del vapor turbinado y lo distribuirán directamente a la ampliación de la planta y, mediante ductos que van de regreso desde la nueva casa de máquinas hacia el edificio actual se conectarán con el cabezal existente, para proveer el vapor de proceso para la planta actual.

El vapor de 5 bar se conectará al cabezal existente de 5 bar mediante una válvula de reserva existente, de 300mm de diámetro que se encuentra en perfecto estado de operación.

El vapor de 15 bar se conectará al cabezal existente de 15 bar a través de una derivación existente para la antigua caldera N° 2, que quedo en desuso al retirarse esta última. La válvula que controla esta derivación es de 200mm de diámetro y se encuentra en perfecto estado operativo. En la figura 5.7 se tiene el esquema de configuración de los cabezales existentes, en donde se señalan los puntos de conexión mencionados.

El traslado del vapor vivo desde las caderas hasta las nuevas turbinas y los vapores de extracción y salida de las mismas hacia el cabezal existente, cubre distancias bastante largas por lo que se hizo necesario el cálculo de la pérdida de presión por fricción. En base a este cálculo se decidió incrementar los diámetros de las tuberías en estos tramos, con respecto a los diámetros obtenidos utilizando el criterio de velocidades máximas recomendadas. En el anexo N° 14 se tiene el procedimiento de cálculo empleado, así como la tabla resumen de cálculos para los ramales siguientes:

- Vapor vivo, 45 bar, 420 °C desde nuevo cabezal de alta hasta nueva turbina de vapor.
- Vapor de extracción, 15 bar, 290°C desde extracción de nueva turbina hasta cabezal existente.
- Vapor de salida, 5 bar, 175°C, desde salida de nueva turbina hasta cabezal existente.

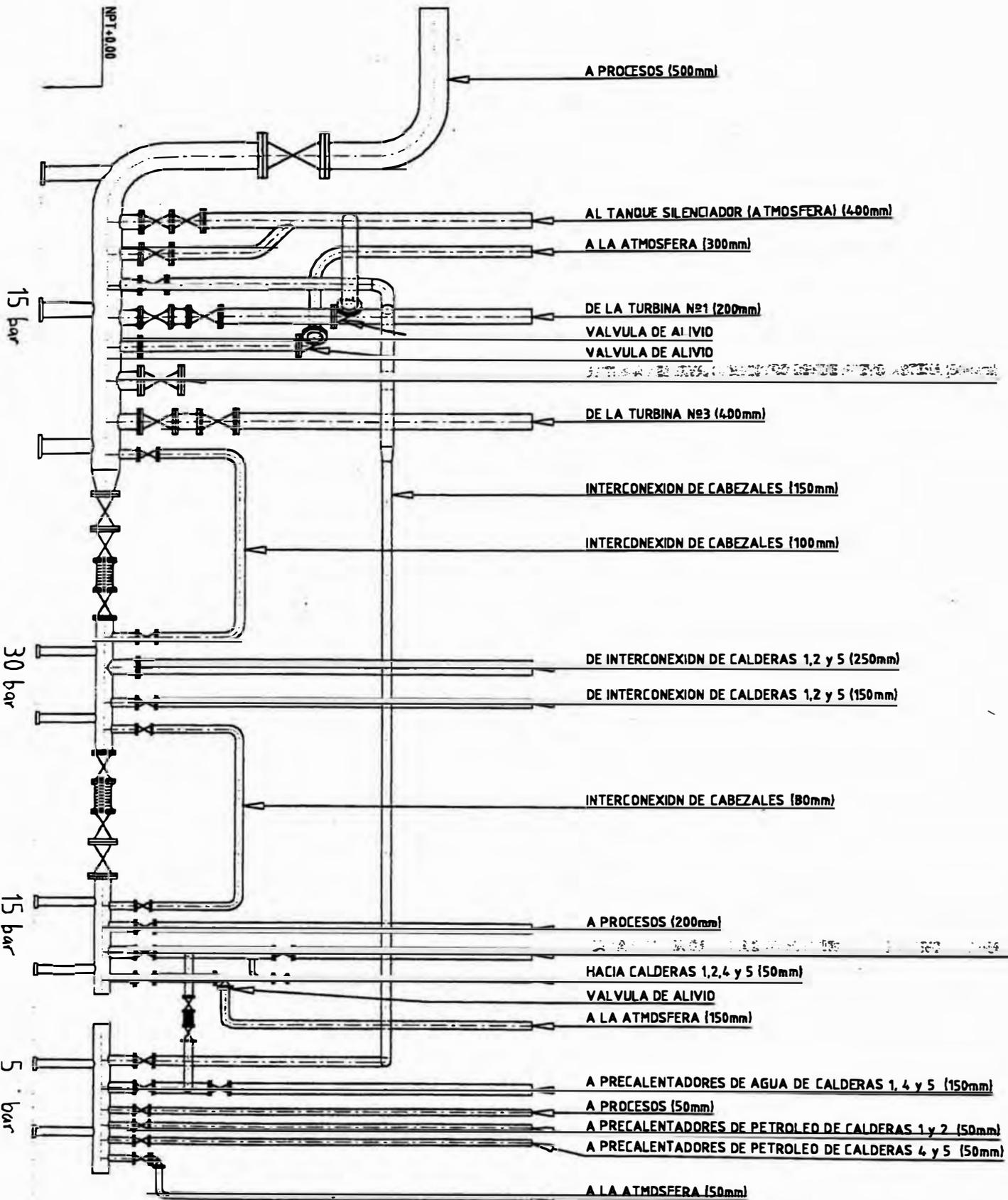
Debido a la implementación gradual del proyecto, la empresa decidió postergar la instalación del nuevo cabezal de procesos hasta la instalación de la segunda turbina y la conexión de la primera máquina se

hará directamente, dejando dispuestas las válvula de derivación para las futuras conexiones al nuevo cabezal de procesos.

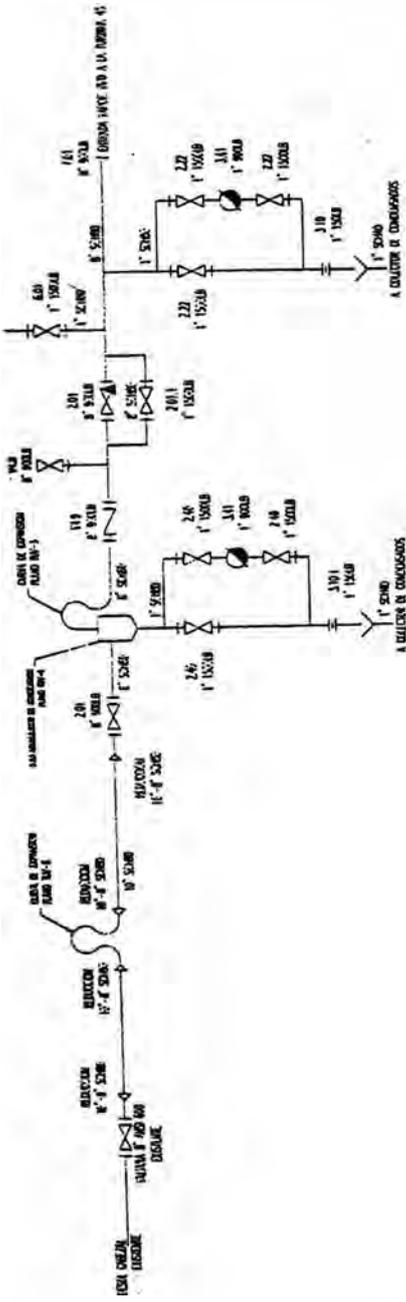
En el plano PR3 presentado a continuación se plantea el esquema de principio de los ramales de 45, 15 y 5 bar, en los cuales se detallan todas las válvulas y accesorios necesarios, incluyendo las válvulas de conexión con el futuro cabezal de procesos.

Los criterios de selección de las válvulas y accesorios son los mismos que los usados para la primera etapa (ver acápite 5.4.3 y anexo N° 8).

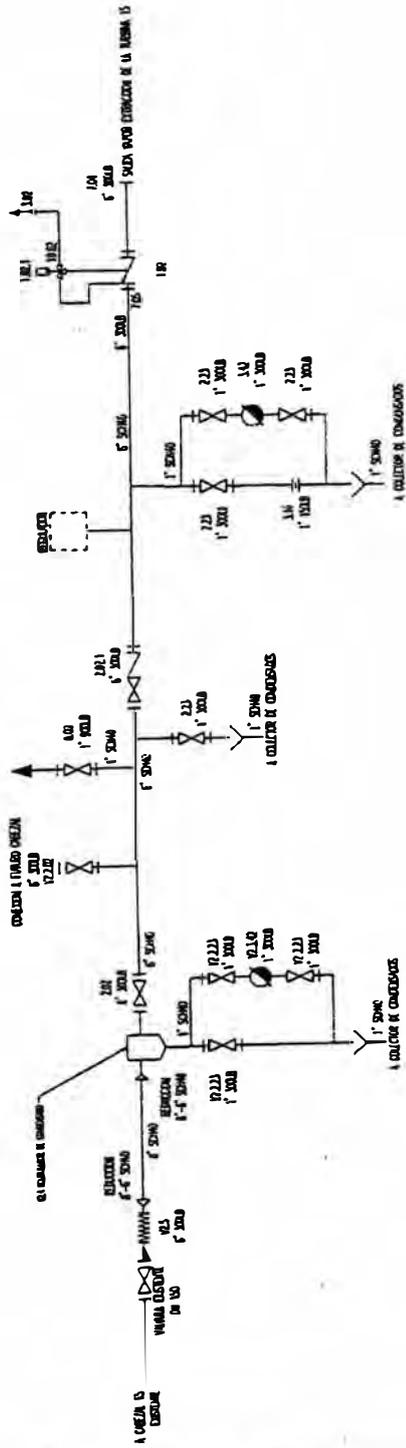
FIG. 5.7.- CONFIGURACION DEL CABEZAL EXISTENTE



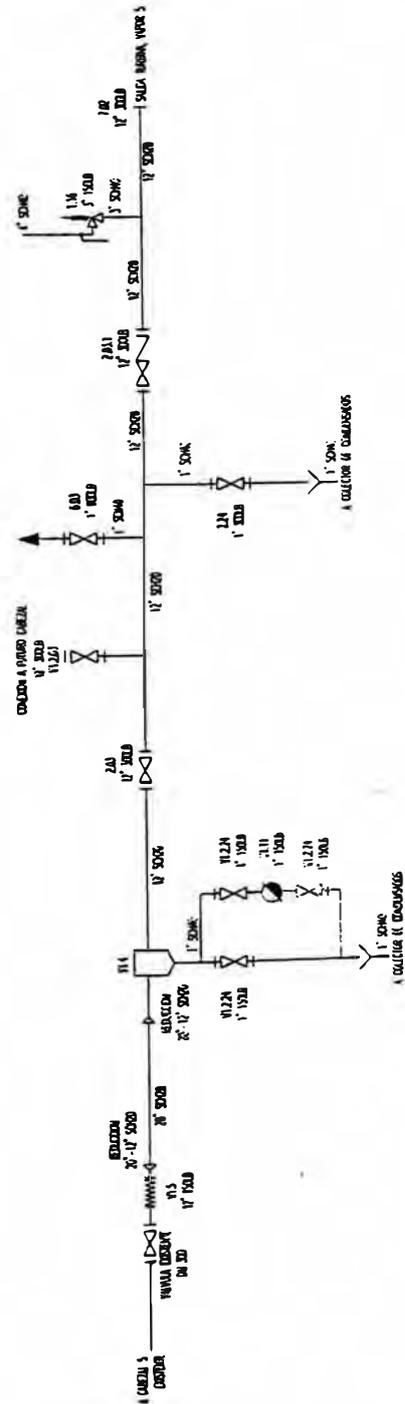
ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE VAPOR 45bar/200C



ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE VAPOR 15bar/200C



ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE VAPOR 5bar/200C



Con el esquema de principio definido se procedió a desarrollar los planos de distribución e instalación del sistema:

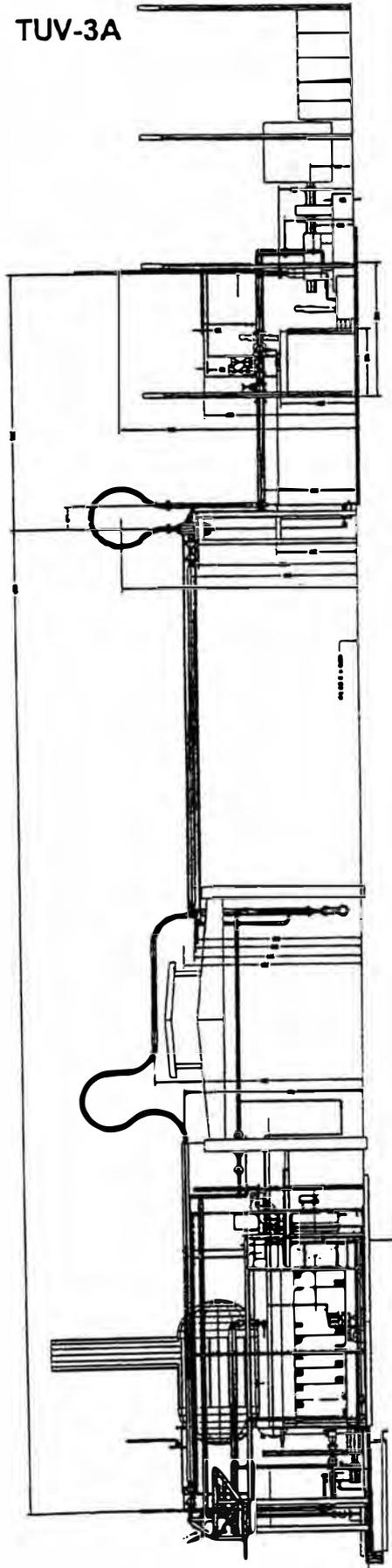
- TUV-0: Tuberías de vapor y condensados, Llegada y conexión a la Turbina N°1.- En este plano se presenta la distribución espacial de los ramales de alimentación a la turbina y los ramales del vapor de extracción y del vapor de salida de la turbina, identificándose todas las válvulas con las denominaciones del esquema de principio (PR3), y las tuberías y accesorios con sus especificaciones técnicas.
- TUV-1: Tuberías de vapor y condensados, Llegada y conexión a los cabezales existentes.- En este plano se presenta la distribución espacial de los ramales de 45 bar y 15 bar, en la zona de conexión con el cabezal existente. También se identifica todos los elementos con sus especificaciones técnicas
- TUV-2A: Disposición general. Vista en planta.- Este plano muestra la vista en planta de todo el sistema de distribución de vapor incluyendo los ramales de la caldera N° 2 recién instalada. Es un plano a escala con dimensiones generales.
- TUV-2B: Tuberías de llegada y salida de la turbina. Vista en planta.- Presenta la distribución del sistema en la zona de la turbina a vapor. Plano a escala con mayor detalle de dimensiones en planta
- TUV-3A: Disposición general, Elevación.- Muestra una elevación del sistema completo. Plano a escala con elevaciones de los ductos.
- TUV-3B: Tuberías de llegada y salida de la turbina, Elevación.- Presenta una elevación lateral de las tuberías en la zona de la

turbina. Plano a escala con mayor detalle de elevaciones de los ductos.

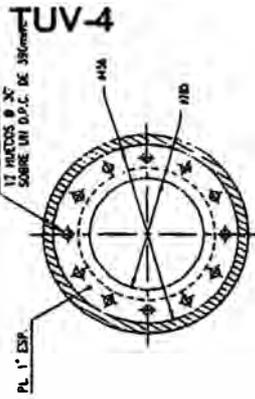
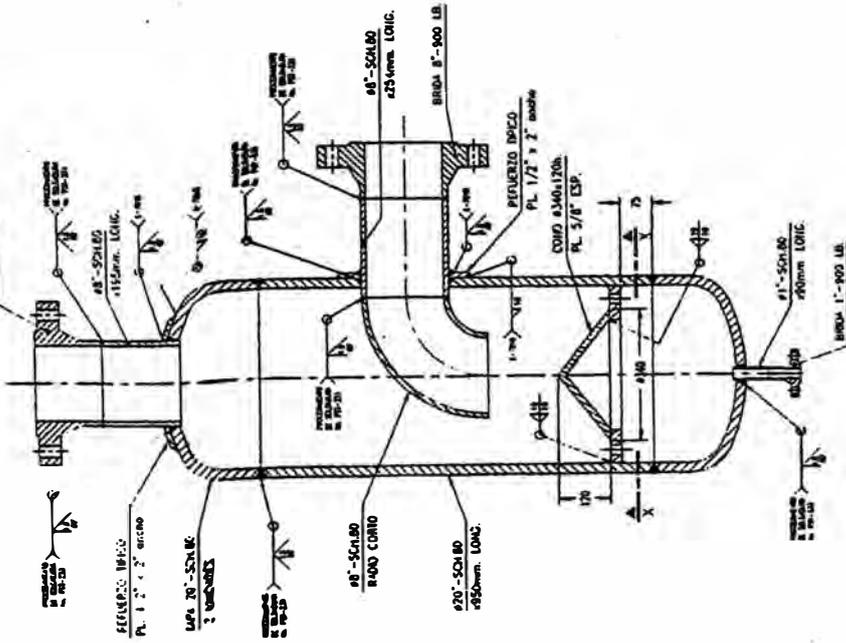
- TUV-3C: Tuberías de llegada a la turbina. Elevación frontal.- En esta elevación frontal se especifica en detalle las elevaciones de los ductos en la zona de la turbina.
- TUV-4: Acumulador de condensado. Plano de fabricación.- El acumulador de condensado tiene como función principal recoger el condensado que puede producirse en la tubería proveniente del cabezal de alta en la zona de calderas. El volumen ha sido calculado en función del volumen del ducto mencionado, considerando la cantidad de líquido que se condensaría después de una parada larga del sistema. Todos los espesores de plancha y cordones de soldadura, así como los materiales a utilizarse se han determinado atendiendo a las normas ASME para recipientes a presión (Anexo 8). Las patas de soporte del acumulados tendrán ranuras de hueco chino para permitir el desplazamiento y absorber la dilatación de los ductos.
- TUB-5: Este es el plano de fabricación de una codo "doble U" que puede utilizarse como alternativa a una junta de dilatación. Sus dimensiones se han determinado de acuerdo con John E. Broca, Capítulo 4 "expansion and flexibility"; Piping Handbook, 5ta. Edición, Reno King, McGraw-Hill Inc., New York, 1967. Los espesores de tubos y soldaduras están de acuerdo a la norma ASME.
- TUB-6: Presenta una vista general del todo el sistema de distribución del proyecto. En la tabla 5.14 se tiene la lista de materiales,

incluyendo válvula, tuberías y accesorios del sistema de distribución descrito.

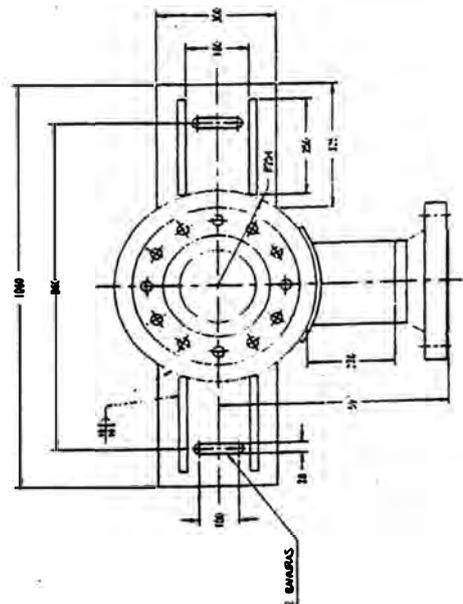
TUV-3A



| | | | |
|---------------------------|-------------|-------|------------|
| PROYECTO | DESCRIPCION | UNID. | EXEQUIENTE |
| 109 | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| GCZ Ingenieros S.O. | | | |
| SANTO DOMINGO, D.R. | | | |
| REVISOR: [Signature] | | | |
| AUTOR: [Signature] | | | |
| FECHA: [Date] | | | |
| Escala: [Scale] | | | |
| Materia: [Material] | | | |
| Muestra: [Sample] | | | |
| Materiales: [Materials] | | | |
| Módulo: [Module] | | | |
| Folio: [Page] | | | |
| Total: [Total Pages] | | | |
| Aprobado por: [Signature] | | | |
| TUV-3A | | | |
| [Logo] | | | |



SECCION: X-X

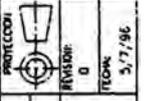


NOTA: - MATERIALES DE 2003, 2004, 2005 Y 2006: ASIM A 100-840, UNO 3 A
 - MATERIALES DE 10025, ASIM A 100-841, UNO 3 A
 - MATERIALES DE 10026, ASIM A 100-842, UNO 3 A
 - MATERIALES DE 10027, ASIM A 100-843, UNO 3 A

| PIEZA ING. | DESCRIPCION | CANT. | ESPECIFICACION |
|------------|-------------|------------|----------------|
| 1-10 | ESCUA | 1-10 | |
| | PERNOS | | |
| | APROBADO: | | |
| | INGENIERO: | RSCH | |
| | BOLO: | JLH | |
| | TECN: | 5/7/96 | |
| | UNIDADES: | MILIMETROS | |
| | FORMA: | A2 | TUV-4 |
| | REVISION: | 0 | |
| | TECN: | 5/7/96 | |

CCCB
 C.C. Ing. S.A.

ITEM: SUAMERICANA DE FIBRAS
 INSTALACION TURBINA ABB GEZO
 DESCRIPCION: ACUMULADOR DE CONDENSADO
 PLANO DE FABRICACION



VISTA DE \"/>

TABLA 5.14.- LISTA DE MATERIALES SISTEMA DE DISTRIBUCION VAPOR DE PROCESO (ESQUEMAS DE PRINCIPIO PR2 y PR-3)

| Tag | Cantidad | Descripción | DN | Presión de trabajo | Temp. de trabajo | Tipo | Observaciones |
|--|----------|-----------------------|-------|--------------------|------------------|-------------|---|
| SISTEMA DE DISTRIBUCION EN ALTA PRESION 45 bar, 420°C | | | | | | | |
| V4.8 | 1 | Válvula de cierre | 8" | 900 lb | 420°C | Globo | Conexión a futuro cabezal 45 bar, 420°C |
| V4.9 | 1 | Válvula check | 8" | 900 lb | 420°C | Check | Evita retorno desde cabezal 45 bar, 420°C |
| 2.01 | 2 | Válvula de bloqueo | 8" | 900 lb | 420 °C | Globo | Vapor de admisión |
| 2.01.1 | 1 | Bloqueo con retención | 8" | 1500 lb | 420°C | Globo-check | Vapor de admisión |
| 2.22 | 3 | Válvula de bloqueo | 1" | 1500 lb | 420°C | Globo | Drenaje vapor vivo |
| 2.40 | 3 | Válvula de bloqueo | 1" | 1500 lb | 420°C | Globo | Drenaje vapor vivo |
| 6.01 | 1 | Válvula de bloqueo | 1" | 1500 lb | 420°C | Globo | Purga vapor vivo |
| 3.41 | 1 | Trampa | 1" | 900 lb | 420°C | - | Drenaje vapor vivo |
| SISTEMA DE DISTRIBUCION 15 bar, 300°C | | | | | | | |
| V2.5 | 1 | Junta de expansión | 6" | 300 lb | 300°C | Fuelle | Elongación: 100mm |
| V2.2.02 | 1 | Válvula de bloqueo | 6" | 300 lb | 300°C | Globo | Conexión a futuro cabezal 15 bar, 30°C |
| V2.2.23 | 3 | Válvula de bloqueo | 1" | 300 lb | 300°C | Globo | Derivación y bloqueo trampa de acumulador |
| V2.3.42 | 1 | Trampa de condens. | 1" | 300 lb | 300°C | - | Trampa del acumulador |
| 2.02 | 1 | Válvula de bloqueo | 6" | 300 lb | 300°C | Globo | Vapor de extracción |
| 2.02.1 | 1 | Bloqueo con retención | 6" | 300 lb | 300°C | Globo-check | Vapor de extracción |
| 2.23 | 7 | Válvula de bloqueo | 1" | 300 lb | 300°C | Globo | Drenaje vapor extracción |
| 6.02 | 1 | Válvula de bloqueo | 1" | 900 lb | 300°C | Globo | Purga vapor extracción |
| 3.42 | 1 | Trampa de condens. | 1" | 300 lb | 300°C | - | Vapor de extracción |
| SISTEMA DE DISTRIBUCION 5 bar, 200°C | | | | | | | |
| V1.5 | 1 | Junta de expansión | 12" | 150 lb | 200°C | Fuelle | Elongación 10mm |
| V1.2.24 | 3 | Válvula de bloqueo | 1" | 150 lb | 200 °C | Globo | Derivación y bloque de trampa |
| V1.11 | 1 | Trampa de vapor | 1" | 150 lb | 200°C | - | Del sistema de 5 bar |
| V1.2.03 | 1 | Válvula de bloqueo | 12" | 150 lb | 200°C | Globo | Conexión a futuro cabezal 5BAR, 200°C |
| 1.16 | 1 | Válvula seguridad | 3"x4" | 150 lb | 200°C | - | Alivio 10% del flujo cuando P = 5.4BAR |
| 2.03 | 1 | Válvula de bloqueo | 12" | 150 lb | 200°C | Compuerta | Vapor de escape |
| 2.03.1 | 1 | Bloqueo con retención | 12" | 150 lb | 200°C | Globo-check | Vapor de escape |
| 2.24 | 1 | Válvula de bloqueo | 1" | 150 lb | 200 °C | Globo | Drenaje vapor de escape |
| 6.03 | 1 | Válvula de bloqueo | 1" | 900 lb | 300°C | Globo | Purga vapor escape |

TABLA 5.14.- LISTA DE MATERIALES SISTEMA DE DISTRIBUCION VAPOR DE PROCESO (ESQUEMAS DE PRINCIPIO PR2 y PR-3 y PLANOS TUV-XX)

ACCESORIOS DE TUBERIAS

| ACCESORIO | DN (plg) | PN | MATERIAL | CANTIDAD |
|---|-------------|---------|------------|----------|
| VAPOR VIVO, 45 bar, 420°C | | | | |
| BRIDA | 8 | 900 LB | ASTM A 105 | 8 |
| BRIDA | 1 | 1500 LB | ASTM A 105 | 4 |
| BRIDA | 1 | 900 LB | ASTM A 105 | 6 |
| BRIDA | 1 | 900 LB | ASTM A 105 | 4 |
| CODO | 10 | 900 LB | ASTM A 105 | 3 |
| CODO | 8 | 900 LB | ASTM A 105 | 4 |
| CODO | 1 | 900 LB | ASTM A 105 | 10 |
| TEE | 8 | 900 LB | ASTM A 105 | 1 |
| TEE | 1 | 900 LB | ASTM A 105 | 4 |
| REDUCCION | 10 - 8 | 900 LB | ASTM A 105 | 4 |
| VAPOR DE EXTRACCION, 15 bar, 300°C | | | | |
| BRIDA | 6 | 300 LB | ASTM A 105 | 9 |
| BRIDA | 1 | 300 LB | ASTM A 105 | 11 |
| CODO | 8 | 300 LB | ASTM A 105 | 2 |
| CODO | 6 | 300 LB | ASTM A 105 | 7 |
| CODO | 1 | 300 LB | ASTM A 105 | 4 |
| TEE | 6 | 300 LB | ASTM A 105 | 1 |
| TEE | 1 | 300 LB | ASTM A 105 | 4 |
| REDUCCION | 8-6 | 300 LB | ASTM A 105 | 2 |
| VAPOR DE ESCAPE, 5BAR, 200°C | | | | |
| BRIDA | 12 | 150 LB | ASTM A 105 | 7 |
| BRIDA | 4 | 150 LB | ASTM A 105 | 1 |
| BRIDA | 3 | 150 LB | ASTM A 105 | 1 |
| BRIDA | 1 | 150 LB | ASTM A 105 | 8 |
| CODO | 20 | 150 LB | ASTM A 105 | 2 |
| CODO | 12 | 150 LB | ASTM A 105 | 4 |
| CODO | 4 | 150 LB | ASTM A 105 | 1 |
| CODO | 1 | 150 LB | ASTM A 105 | 4 |
| TEE | 12 | 150 LB | ASTM A 105 | 1 |
| TEE | 1 | 150 LB | ASTM A 105 | 4 |
| PURGAS Y CONDENSADOS | | | | |
| CODO | 3 | 150 LB | ASTM A 105 | 4 |
| CODO | 1 | 150 LB | ASTM A 105 | 6 |

TABLA 5.14.- LISTA DE MATERIALES SISTEMA DE DISTRIBUCION VAPOR DE PROCESO (ESQUEMAS DE PRINCIPIO PR2 y PR-3 y PLANOS TUV-XX)

TUBERIAS

| DN (plg) | SCHEDUL E | MATERIAL | CANTIDAD (m) | PESO (kg/m) | PESO (kg) |
|---|-----------|------------|--------------|-------------|-----------|
| VAPOR VIVO, 45 bar, 420°C | | | | | |
| 10 | 80 | ASTM A 106 | 42 | 96.11 | 4,036.62 |
| 8 | 80 | ASTM A 106 | 30 | 64.72 | 1,941.60 |
| 1 | 80 | ASTM A 106 | 12 | 3.24 | 38.88 |
| SUBTOTAL | | | | | 6,017.10 |
| VAPOR DE EXTRACCION, 15 bar, 300°C | | | | | |
| 8 | 40 | ASTM A 53 | 60 | 42.59 | 2,555.40 |
| 6 | 40 | ASTM A 53 | 24 | 28.30 | 679.20 |
| 1 | 40 | ASTM A 53 | 12 | 2.50 | 30.00 |
| SUBTOTAL | | | | | 3,264.60 |
| VAPOR DE ESCAPE, 5BAR, 200°C | | | | | |
| 20 | 20 | ASTM A 53 | 60 | 117.24 | 7,034.40 |
| 12 | 20 | ASTM A 53 | 24 | 49.78 | 1,194.72 |
| 1 | 40 | ASTM A 53 | 12 | 2.50 | 30.00 |
| SUBTOTAL | | | | | 8,259.12 |
| PURGAS Y CONDENSADOS | | | | | |
| 3 | 40 | ASTM A 53 | 24 | 11.30 | 271.20 |
| 1 | 40 | ASTM A 53 | 12 | 2.50 | 30.00 |
| SUBTOTAL | | | | | 301.20 |
| TOTAL | | | | | 17,842.02 |

5.4.9 DISEÑO DE LAS PLACAS ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL

Con la finalidad de conocer el flujo de vapor de 15 bar y de 5BAR consumido se ha decidido utilizar placas orificio para medir el flujo volumétrico. El principio de operación de las placas orificio para medición de caudal se basa en la caída de presión que se produce entre sus caras anterior y posterior con el paso del fluido, la cual refleja la velocidad y por consiguiente el volumen que atraviésala placa en determinado instante; es una medición indirecta del flujo volumétrico puesto que el instrumento utilizado es un manómetro diferencial que puede ser escalado para tener una lectura directa del flujo en lugar de la caída de presión.

El alcance de este trabajo incluye las especificaciones para la fabricación de las placas orificio mas no la instrumentación. A continuación se tiene la tabla N° 5.15 con las especificaciones para el diseño de cada placa orificio y posteriormente, los planos a escala reducida para la fabricación de las placas.

| MEDICION DE CAUDAL | PRESION | TEMP. | CAUDAL NOMINAL |
|--------------------|---------|-------|----------------|
| VAPOR A 15 bar | 15 bar | 290°C | 28 TM/hr |
| VAPOR A 5 bar | 5 bar | 196°C | 16 TM/hr |

TABLA 5.15 Condiciones de diseño de placas orificio

El diseño de la placa orificio se ha realizado según la norma francesa AFNOR, cuyo procedimiento se muestra en el anexo N°13. En el mismo anexo se tiene las hojas de cálculo preparadas para cada placa.

5.4.10 AISLAMIENTOS TÉRMICOS

El aislamiento térmico es el recubrimiento exterior de las tuberías y debe cumplir las siguientes funciones:

- Mantener la temperatura del proceso
- Minimizar la transferencia de calor con el medio ambiente
- Protección del personal operativo.

La instalación del aislamiento comprende el material aislante en forma de bloques, mantas o cubiertas moldeadas seccionales para tuberías; la cubierta o forro del aislante que puede ser de láminas de acero galvanizado o acero inoxidable y por último la pintura. Normalmente la selección del aislamiento térmico se basa en la experiencia, debido a la escasa correlación entre los resultados de laboratorio y el comportamiento en servicio. Para decidir sobre el material aislante deben evaluarse los efectos de la humedad y los cambios de temperatura sobre las siguientes propiedades:

- Propiedades físicas:
 - Conductividad térmica
 - Calor específico
 - Coeficiente de expansión
 - Resistencias a la compresión e impacto
 - Dureza
 - Resistencia a la fatiga
 - Resistencia al fuego
- Propiedades químicas:
 - Composición
 - Naturaleza Corrosiva

- Efectos de las sustancias químicas sobre las tuberías y recipientes

Características de la instalación:

- Toxicidad
- Acción sobre la piel
- Manejabilidad

Los principales materiales aislantes y su temperatura aproximada de utilización aceptada son:

- Asbestos, 650°C
- Silicato de calcio, 650°C
- Vidrio celular (vidrio espuma), 425°C
- Silica celular, 870°C
- Sílica diatomácea más asbesto, 870°C
- Fibra mineral 102 @ 650°C (según el tipo)
- Lana mineral, 650°C
- Magnesia, 320°C

La temperatura máxima de los materiales es 1050°C, a temperaturas más altas se deben emplear materiales refractarios.

La fábrica posee amplia experiencia en el uso de aislamientos térmicos y tiene conocimiento sobre la disponibilidad de los materiales en nuestro medio. Puesto que la mayor de las temperaturas de trabajo es de 420°C, basándose en su experiencia y considerando las condiciones de operación de su proceso productivo, deberá escoger uno de los siguientes materiales:

- Silicato de calcio (Calcium Silicate)

- Asbestos
- Lana mineral (Mineral Fiber)
- Vidrio celular (Cellular glass).

En el anexo N° 15 se presenta la tabla A.19.1 (ver Capítulo 6, "Thermal insulation" [3]) con las designaciones ASTM de los materiales mencionados.

En cuanto al espesor óptimo, su determinación es una cuestión económica puesto que a medida que el espesor del aislamiento aumenta su costo aumenta, pero las pérdidas de calor disminuyen; el óptimo será aquel que suma el menor valor para el costo del material aislante y el valor presente de las pérdidas anuales de calor.

En el anexo N° 15 se presenta la tabla A.15.2 (ver Capítulo 6, "Thermal insulation" [3]) con espesores, para diversas temperaturas y usos, recomendados para Silicato de Calcio por los fabricantes de aislamientos térmicos. De acuerdo a esta tabla los espesores a instalarse en el caso de generación de vapor y con nuestros rangos de uso son:

| DIAMETRO NOMINAL D (plg) | TEMPERATURA DE LA TUBERIA (°F) | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | 300 @ 399 | 500 @ 599 | 700 @ 799 |
| | Espesor nominal | | |
| D < 2 ½ | 1 ½ | 2 | 2 ½ |
| D = 3 | 1 ½ | 2 | 3 |
| 3 < D < 6 | 1 ½ | 2 ½ | 3 |
| 6 = D < 8 | 2 | 2 ½ | 3 |
| 8 = D < 12 | 2 | 2 ½ | 3 |
| 12 = D | 2 | 3 | 3 ½ |

Tabla 5.16.- Espesor de aislamiento térmico (Silicato de calcio)

CAPITULO VI

COSTOS ESTIMADOS DE IMPLEMENTACIÓN

Los costos de la caldera y la turbina (Tabla 6.1) son aproximadamente los costos reales de los equipos en el puerto de origen. Se les ha agregado los porcentajes promedio para cubrir el transporte, impuestos y trámites de aduana.

Para las tuberías (Tabla 6.2) estimaremos el costo en base al peso de las mismas. Es bien conocido que en estos casos el precio referencial de las tuberías de acero en nuestro medio, es de aproximadamente 1.00US\$/kg; la instalación y pruebas está en un promedio de 1.50US\$/kg; sin embargo, por ser esta una aplicación especial con temperaturas relativamente altas y elevada confiabilidad consideraremos 1.75US\$/kg para cubrir las pruebas y cuidados adicionales. Los accesorios como bridas, codos, tees, reducciones y otros similares serán considerados como un 5% adicional a la tubería.

Para el aislamiento térmico, de acuerdo con Samuel Weiner en el Cap.20 "Steam Power-plant Piping" de [3], el valor del material aislante alcanza el 5% del material de la tubería, y la instalación llega al 13% de la instalación de la tubería; la misma fuente considera para el suministro e instalación del conjunto de válvulas un 35% del total de las tuberías.

En el caso de las estructuras metálicas del puente de tuberías y de la casa de maquinas de las turbinas, incluyendo fabricación y pintura consideraremos un costo referencial de 2.00 US\$/kg (Tabla 6.3).

Las obras civiles de la cimentación de la caldera, de las turbinas y de la casa de máquinas (Tabla 6.4) se estimarán mediante costos unitarios propuesto por diversas publicaciones sobre construcción en nuestro medio. La tabla 6.5 es el resumen de costos del proyecto.

| EQUIPO | FOB | SEGUROS FLETES IMPUESTOS 50% | INSTALACION 5% | TOTAL |
|--|--------------|---------------------------------------|----------------|--------------|
| | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| CALDERA BABCOCK & WILCOX, 45 bar, 420°C, 50,000kg/hr | 1,240,000.00 | 620,000.00 | 62,000.00 | 1,922,000.00 |
| TURBINA ABB GE-20, 45 bar, 420°C, 50,000kg/hr; EXTRACCION A 15 bar,16,000kg/hr; SALIDA 5 bar | 724,000.00 | 362,000.00 | 36,200.00 | 1,122,200.00 |
| TOTAL | 1,964,000.00 | 982,000.00 | 98,200.00 | 3,044,200.00 |

| SISTEMA | TUBERIA | | | | | AISLAMIENTO | | | VALVULAS | TOTAL |
|--------------------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------|
| | Peso | Suministro 1 US\$/kg | Instalación 1.75 US\$/kg | Accesorios 5% DE TUBERIA | TOTAL TUBERIA | Suministro 5% DE TUBERIA | Instalación 13% DE TUBERIA | TOTAL AISLAM. | 35% DE TUBERIA | US\$ |
| | kg | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | |
| Vapor y agua de alimentación Caldera | 4,627.31 | 4,627.31 | 8,097.79 | 636.26 | 12,725.10 | 636.26 | 1,654.26 | 2,290.52 | 4,453.79 | 19,469.41 |
| Purgas y condensados Caldera | 2,057.47 | 2,057.47 | 3,600.57 | 282.90 | 5,658.04 | 282.90 | 735.55 | 1,018.45 | 1,980.31 | 8,656.81 |
| Vapor 45 bar Turbina | 6,017.10 | 6,017.10 | 10,529.93 | 827.35 | 16,547.03 | 827.35 | 2,151.11 | 2,978.46 | 5,791.46 | 25,316.95 |
| Vapor 15 bar Turbina | 3,264.60 | 3,264.60 | 5,713.05 | 448.88 | 8,977.65 | 448.88 | 1,167.09 | 1,615.98 | 3,142.18 | 13,735.80 |
| Vapor 5 bar Turbina | 8,259.12 | 8,259.12 | 14,453.46 | 1,135.63 | 22,712.58 | 1,135.63 | 2,952.64 | 4,088.26 | 7,949.40 | 34,750.25 |
| Condensados | 301.20 | 301.20 | 527.10 | 41.42 | 828.30 | 41.42 | 107.68 | 149.09 | 289.91 | 1,267.30 |
| TOTAL | | 24,526.80 | 42,921.90 | 3,372.44 | 67,448.70 | 3,372.44 | 8,768.33 | 12,140.77 | 23,607.05 | 103,196.51 |

TABLA 6.3.a - COSTO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE DE TUBERIAS Y PLATAFORMA DE CALDERA

LISTA DE MATERIALES PUENTE DE TUBERIAS (PLANO PU-4)

| ITEM | DESCRIPCION | ESPECIFICACION | LONGITUD (m) | CANTIDAD | PESO kg/m | PESO kg | TOTAL US\$ |
|------|---------------------|---|--------------|----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | COLUMNA DEL PUENTE | 10 WF 66 | 4.71 | 8 | 476.38 | 17,949.92 | 35,899.84 |
| 2 | VIGUETA DEL PUENTE | 10 WF 66 | 1.76 | 4 | 476.38 | 3,353.70 | 6,707.40 |
| 3 | VIGA DEL PUENTE | 12 WF 31 | 30.26 | 2 | 223.75 | 13,541.55 | 27,083.10 |
| 4 | COLUMNA DEL APOYO | C4 x 5.4 | 1.15 | 20 | 38.98 | 896.46 | 1,792.91 |
| 5 | VIGA DEL APOYO | C4 x 5.4 | 1.76 | 31 | 38.98 | 2,126.55 | 4,253.10 |
| 6 | PERNOS | 1/2" UNC 2A x 2" LG, CON TUERCA, ARANDELAS PLANAS Y PRESION | 1.00 | 340 | 0.25 | 83.66 | 167.32 |
| 7 | BRAZO DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 1.81 | 2 | 124.51 | 449.47 | 898.95 |
| 8 | VIGA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 3.26 | 2 | 124.51 | 811.79 | 1,623.58 |
| 9 | COLUMNETA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 1.05 | 2 | 124.51 | 261.47 | 522.93 |
| 10 | BRAZO DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 1.33 | 2 | 124.51 | 331.19 | 662.38 |
| 11 | COLUMNA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 1.01 | 4 | 124.51 | 500.52 | 1,001.04 |
| 12 | ARRIOSTRE DEL APOYO | C4 x 5.4 | 1.68 | 4 | 38.98 | 261.92 | 523.84 |
| 13 | VUGA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie | 1.45 | 2 | 124.51 | 360.57 | 721.15 |
| 14 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 3.57 | 3 | 7.49 | 80.22 | 160.44 |
| 15 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 3.44 | 2 | 7.49 | 51.53 | 103.06 |
| 16 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 3.23 | 14 | 7.49 | 338.70 | 677.40 |
| 17 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 3.08 | 7 | 7.49 | 161.48 | 322.97 |
| 18 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.86 | 3 | 7.49 | 41.79 | 83.59 |
| 19 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.58 | 2 | 7.49 | 23.67 | 47.34 |
| 20 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 2.07 | 3 | 7.49 | 46.51 | 93.03 |
| 21 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.83 | 2 | 7.49 | 27.41 | 54.83 |
| 22 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 3.08 | 4 | 7.49 | 92.28 | 184.55 |
| 23 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.74 | 2 | 7.49 | 26.07 | 52.13 |
| 24 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.39 | 4 | 7.49 | 41.64 | 83.29 |
| 25 | ARRIOSTRE | L 3" x 3" x 1/4" | 1.20 | 2 | 7.49 | 17.98 | 35.95 |
| | SUB TOTAL | | | | | 41,878.06 | 83,756.12 |

LISTA DE MATERIALES PUENTE DE TUBERIAS (PLANO PU-5)

| | | | | | | | |
|----|------------------------|---------------------------------------|-------|---|--------|--------|----------|
| 1 | ARRIOSTRE LONGITUDINAL | L 4" x 4" x 3/8" x 18800mm | 18.80 | 2 | 14.97 | 563.00 | 1,125.99 |
| 2 | TAPAS | PL 1/2" x 120mm x 120mm | | 8 | 1.44 | 11.50 | 23.00 |
| 3 | VIGUETA DE APOYOS | H 120 x 120 x 1320mm | 1.32 | 4 | 28.43 | 150.11 | 300.22 |
| 4 | COLUMNA DEL APOYO | H 120 x 120 x 1475mm | 1.48 | 4 | 28.43 | 167.74 | 335.47 |
| 5 | VIGA DEL APOYO | H 120 x 120 x 1080mm | 1.08 | 2 | 28.43 | 61.41 | 122.82 |
| 6 | BASE DE APOYOS | PL 1/2" x 160mm x 160mm | | 8 | 2.56 | 20.44 | 40.89 |
| 7 | BRAZO DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 1795mm | 1.80 | 2 | 124.51 | 446.98 | 893.97 |
| 8 | VIGA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 2900mm | 2.90 | 2 | 124.51 | 722.15 | 1,444.29 |
| 9 | COLUMNETA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 985mm | 0.99 | 2 | 124.51 | 245.28 | 490.56 |
| 10 | BRAZO DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 1090mm | 1.09 | 2 | 124.51 | 271.43 | 542.85 |
| 11 | COLUMNA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 942mm | 0.94 | 4 | 124.51 | 469.15 | 938.29 |

TABLA 6.3.a.- COSTO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE DE TUBERIAS Y PLATAFORMA DE CALDERA

| | | | | | | | |
|----|-------------------------------|---|-------|----|--------|----------|-----------|
| 12 | ARRIOSTRE DEL APOYO | C4 x 5.4 x 1320mm | 1.32 | 4 | 38.98 | 205.80 | 411.59 |
| 13 | VIGA DEL APOYO | I 6" x 3 3/8" - 17.25 lb/pie x 1054mm | 1.05 | 2 | 124.51 | 262.46 | 524.93 |
| 14 | ARRIOSTRE DE APOYOS 14A Y 14B | C4" x 5.4 LB/PIE x 1285mm | 1.29 | 2 | 38.98 | 100.17 | 200.34 |
| 15 | COLUMNETA DE APOYOS | H 120 x 120 x 620mm | 0.62 | 2 | 28.43 | 35.25 | 70.51 |
| 16 | COLUMNETA DE APOYOS | H 120 x 120 X 990mm | 0.99 | 2 | 28.43 | 56.29 | 112.58 |
| 17 | BARANDA | L 3" x 3" x 1/4" x 29500mm | 29.50 | 2 | 7.49 | 441.71 | 883.42 |
| 18 | POSTES DE PASARELA | L 3" x 3" x 1/4" x 1200mm | 1.20 | 15 | 7.49 | 134.76 | 269.52 |
| 19 | SOPORTES DE PASARELA | L 4" x 4" x 3/8" x 29500mm | 29.50 | 2 | 14.97 | 883.42 | 1,766.85 |
| 20 | PISO PASARELA | PLANCHA ESTRIADA 1/8" x 900mm x 29500mm | | 1 | 662.57 | 662.57 | 1,325.14 |
| 21 | REFUERZO | PL 1/2" x 74mm x 115mm | | 36 | 0.85 | 30.58 | 61.16 |
| 22 | ARRIOSTRES TRANSVERSALES | H 120 x 120 x 1200mm | 1.20 | 9 | 28.43 | 307.04 | 614.09 |
| 23 | SOPORTES TRANSV. PASARELA | H 120 x 120 x 1300mm | 1.30 | 9 | 28.43 | 332.63 | 665.26 |
| 24 | COLUMNA ESCALERA | TUBO 1" SCH40 x 5200mm | 5.20 | 2 | 2.50 | 26.00 | 52.00 |
| 25 | ESCALON | TUBO 1" SCH40 x 1100mm | 1.10 | 17 | 2.50 | 46.75 | 93.50 |
| 26 | BARANDA ESCALERA | TUBO 1" SCH40 x 230mm | 0.23 | 8 | 2.50 | 4.60 | 9.20 |
| | SUB TOTAL | | | | | 6,659.22 | 13,318.44 |

LISTA DE MATERIALES PLATAFORMA DE CALDERA (PLANO PT-3)

| | | | | | | | |
|----|---------------------------------|--------------------------------|------|----|-------|----------|-------------------|
| 1 | COL. AI 8,A22,BI 8,C22 | H 160x160 | 3 | 3 | 45.38 | 408.42 | 816.84 |
| 2 | COL. D18,D22,EI8,E22 | H 160x160 | 7.5 | 3 | 45.38 | 1,021.05 | 2,042.10 |
| 3 | COL. G18,G22 | H 160x160 | 5.1 | 2 | 45.38 | 462.88 | 925.75 |
| 4 | VIGA A,D,E,G | H 160x160 | 4.2 | 4 | 45.38 | 762.38 | 1,524.77 |
| 5 | VIGA E22-PUENTE,E21-PUENTE | H 120x120 | 6.45 | 2 | 28.43 | 366.75 | 733.49 |
| 6 | VIGA C21-E21,A22-D22 | H 120x120 | 5.25 | 2 | 28.43 | 298.52 | 597.03 |
| 7 | VIGA C20-G20 | H 120x120 | 8.2 | 1 | 28.43 | 233.13 | 466.25 |
| 8 | VIGA EI 8-GI 8 | H 120x120 | 2.95 | 1 | 28.43 | 83.87 | 167.74 |
| 9 | VIGA D18-EI8,D22-E22 | H 120x120 | 3.55 | 2 | 28.43 | 201.85 | 403.71 |
| 10 | VIGA B | H 120x120 | 5.35 | 1 | 28.43 | 152.10 | 304.20 |
| 11 | PASARELA DERECHA (EJE 22) | H 120x120 | 4.4 | 1 | 28.43 | 125.09 | 250.18 |
| 12 | PASARELA IZQ. (EJES AI 8 Y A20) | H 120x120 | 2.5 | 2 | 28.43 | 142.15 | 284.30 |
| 13 | PASARELAS | 1 4x4x3/8" | 2 | 2 | 14.97 | 59.89 | 119.79 |
| 14 | EJES F,G | 1 4x4x3/8" | 3 | 2 | 14.97 | 89.84 | 179.68 |
| 15 | BARANDAS | 1 3x3x1/4" | 3 | 25 | 7.49 | 561.50 | 1,123.00 |
| 16 | PISO | PL 1/8" ESTRIADA 4'x8' | | 17 | 71.87 | 1,221.82 | 2,443.64 |
| 17 | BASE COLUMNAS | PL1/2" x 0.18m x 0.18m | | 10 | 3.23 | 32.34 | 64.68 |
| 18 | ANCLAJE COLUMNAS | PERNO DIA 5/8" x 30cm LONGITUD | | 20 | 0.48 | 9.52 | 19.04 |
| 19 | ANCLAJE COLUMNAS | TUERCA DIA 5/8" | | 20 | 0.05 | 1.00 | 2.00 |
| | SUB TOTAL | | | | | 6,234.10 | 12,468.20 |
| | TOTAL US\$ | | | | | | 109,542.76 |

TABLA 6.3.b.- COSTO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA DE LA CASA DE MAQUINAS DE LA TURBINA

LISTA DE MATERIALES ESTRUCTURA CASA DE MAQUINAS (PLANOS E-3 y E-4)

| ITEM | DESCRIPCION | ESPECIFICACION | LONGITUD (m) | CANTIDAD | PESO kg/m | PESO kg | TOTAL US\$ |
|--|-------------------------------|---|--------------|----------|-----------|----------|------------------|
| 1 | COLUMNAS | 12 WF 50 | 7.500 | 74.57 | 8 | 4,474.20 | 8,948.40 |
| 3 | VIGAS TECHO | 12 WF 50 | 3.317 | 74.57 | 8 | 1,978.79 | 3,957.58 |
| 4a | SOPORTE COBERTURA TECHO | Z 5" x 1 1/2" x 3/16" | 18.500 | 8.55 | 4 | 632.70 | 1,265.40 |
| 4b | SOPORTE COBERTURA LATERAL | Z 5" x 1 1/2" x 3/16" | 16.500 | 8.55 | 10 | 1,410.75 | 2,821.50 |
| 4c | SOPORTE COBERTURA LATERAL | Z 5" x 1 1/2" x 3/16" | 6.500 | 8.55 | 8 | 444.60 | 889.20 |
| 4d | SOPORTE COBERTURA LATERAL | Z 5" x 1 1/2" x 3/16" | 6.500 | 8.55 | 1 | 55.58 | 111.15 |
| 4e | SOPORTE COBERTURA LATERAL | Z 5" x 1 1/2" x 3/16" | 1.380 | 8.55 | 2 | 23.60 | 47.20 |
| 5a | ARRIOSTRES LATERALES | L 3' x 3" x 1/4' | 6.000 | 7.61 | 12 | 547.92 | 1,095.84 |
| 5b | ARRIOSTRES LATERALES | L 3' x 3" x 1/4' | 2.900 | 7.61 | 12 | 264.83 | 529.66 |
| 5c | PARANTE FRONTAL | H 120x120 | 4.470 | 28.43 | 1 | 127.08 | 254.16 |
| 6 | ARRIOSTRES TECHO | REDONDO 3/4" ROSCADA POR AMBOS LADOS 100mm | 6.540 | 2.23 | 12 | 174.90 | 349.79 |
| 7 | TIRANTES TECHO | REDONDO 3/8" ROSCADA POR AMBOS LADOS 100mm | 3.360 | 0.56 | 6 | 11.30 | 22.61 |
| 8 | TIRANTES TECHO | REDONDO 3/8" ROSCADA POR AMBOS LADOS 100mm | 0.400 | 0.56 | 6 | 1.35 | 2.69 |
| 9 | REFUERZO DE Zs | L 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16" | 0.150 | 2.87 | 72 | 31.00 | 61.99 |
| 10a | UNION ARRIOTRES LATERALES | PL 400 x 300 x 1/4" | | 5.99 | 12 | 71.87 | 143.74 |
| 11 | PLACA UNION TECHO | PL 350 x 300 x 3/8" | | 7.86 | 8 | 62.89 | 125.78 |
| 12 | ATIESADORES TECHO | PL 285 x 100 x 3/8" | | 2.13 | 32 | 68.28 | 136.56 |
| 13 | VIGA PUENTE | 16 WF 50 | 5.700 | 74.56 | 1 | 425.02 | 850.04 |
| 14 | NERVADURA MENSULA | PL 450 x 380 x 3/8" | | 12.80 | 8 | 102.42 | 204.83 |
| 15 | REFUERZO MENSULA | PL 280 x 100 x 5/8" | | 3.49 | 48 | 167.70 | 335.40 |
| 16 | REFUERZO CARRILERA | PL 250 x 205 x 3/8" | | 3.84 | 8 | 30.70 | 61.39 |
| 17 | MENSULA | PL 380 x 200 x 5/8" | | 9.48 | 16 | 151.73 | 303.46 |
| 18 | RIEL DE GRUA PUENTE | TEE 60 LB ASCE | 17.000 | 29.83 | 2 | 1,014.08 | 2,028.16 |
| 19 | VIGA CARRILERA | 16 WF 68 | 17.000 | 101.41 | 2 | 3,447.86 | 6,895.73 |
| 20 | FIJACION ARRIOSTRES TECHO | L 3' x 3" x 1/4' | 0.120 | 7.61 | 24 | 21.92 | 43.83 |
| 21 | SOPORTE DE PUERTA | PL 3/4" | | 40.00 | 2 | 80.00 | 160.00 |
| 22a | GUIA CENTRAL DE PUERTA | PL 3/4" | | 1.45 | 1 | 1.45 | 2.90 |
| 22b | GUIA TOPE DE PUERTA | PL 3/4" | | 1.45 | 2 | 2.90 | 5.80 |
| 23 | RIEL DE PUERTA CORREDIZA | 8 WF 24 | 7.060 | 35.79 | 1 | 252.68 | 505.37 |
| 24 | COBERTURA LATERAL SUPERIOR | CALAMINA DE FIBRA TRANSPARENTE | 1.700 | | 29 | | |
| 25 | COBERTURA LATERAL INFERIOR | CALAMINON T. 4 CANALES. 0.45mm | 6.200 | | 34 | | |
| 26 | COBERTURA FRONTAL/POSTERIOR | CALAMINON T. 4 CANALES. 0.45mm | 9.000 | | 22 | | |
| 27 | COBERTURA TECHO | CALAMINON AL. 2 CANALES 0.45 mm | 1.000 | | 54 | | |
| 28 | TUERCAS PARA ARRIOSTRES TECHO | 3/4" UNC | | 0.053 | 24 | 1.27 | 2.54 |
| 29 | TUERCAS PARA ARRIOSTRES TECHO | 3/8" UNC | | 0.007 | 24 | 0.16 | 0.32 |
| 30 | PERNOS PARA SOPORTE PUERTA | 3/4' UNC x 2", ARANDELAS PLANA Y DE PRESION | | 0.125 | 12 | 1.50 | 3.00 |
| 31 | PUERTA CORREDIZA | CONJUNTO | | 1.00 | 380 | 380.00 | 760.00 |
| TOTAL SUMINISTRO E INSTALACION DE ESTRUCTURA CASA DE MAQUINAS | | | | | | | 32,926.01 |
| SUMINISTRO E INSTALACION DE GRUA PUENTE | | | | | | | 8,400.00 |
| TOTAL CASA DE MAQUINAS | | | | | | | 41,326.01 |

| TABLA 6.4.- ESTIMACION DEL COSTO DE OBRAS CIVILES | | | | | |
|---|--|-----|----------|--------------|------------------|
| PAR TIDA | DESCRIPCION | UND | CANT. | UNIT. (US\$) | TOTAL (US\$) |
| 1 | Cimentacion De Caldera | | | | |
| 1.1 | Demolicion De Zona De Losa Existente | M3 | 18.22 | 31.29 | 978.99 |
| 1.2 | Excavacion | M3 | 23.85 | 6.92 | 47.92 |
| 1.3 | Encofrado | M2 | 3.96 | 5.79 | 33.47 |
| 1.4 | Concreto 210 Kg/Cm2 | M3 | 23.85 | 67.69 | 4,581.94 |
| 1.5 | Acero De Refuerzo | Kg | 2,980.80 | 0.77 | 0.59 |
| | Subtotal | | | | 5,642.91 |
| 2 | Cimentacion Del Puente De Tuberias | | | | |
| 2.1 | Demolicion De Zona De Losa Existente | M3 | 6.22 | 31.29 | 978.99 |
| 2.2 | Excavacion | M3 | 10.37 | 6.92 | 47.92 |
| 2.3 | Encofrado | M2 | 6.40 | 5.79 | 33.47 |
| 2.4 | Concreto 210 Kg/Cm2 | M3 | 7.78 | 67.69 | 4,581.94 |
| 2.5 | Acero De Refuerzo | Kg | 729.00 | 0.77 | 0.59 |
| | Subtotal | | | | 5,642.91 |
| 3 | Cimentacion Casa De Maquinas De La Turbina | | | | |
| 3.1 | Demolicion De Zona De Losa Existente | M3 | 1.00 | 31.29 | 978.99 |
| 3.2 | Excavacion | M3 | 21.60 | 6.92 | 47.92 |
| 3.3 | Encofrado | M2 | 61.44 | 5.79 | 33.47 |
| 3.4 | Concreto 210 Kg/Cm2 | M3 | 21.60 | 67.69 | 4,581.94 |
| 3.5 | Acero De Refuerzo | Kg | 2,025.00 | 0.77 | 0.59 |
| | Subtotal | | | | 5,642.91 |
| 4 | Cimentacion De La Turbina | | | | |
| 4.1 | Excavacion | M3 | 23.56 | 6.92 | 47.92 |
| 4.2 | Encofrado | M2 | 24.58 | 5.79 | 33.47 |
| 4.3 | Concreto 210 Kg/Cm2 | M3 | 29.45 | 67.69 | 4,581.94 |
| 4.4 | Acero De Refuerzo | Kg | 3,681.25 | 0.77 | 0.59 |
| | Subtotal | | | | 4,663.92 |
| | Total Costo Directo | | | | 21,592.65 |
| | Imprevistos (5%) | | | | 1,079.63 |
| | Gastos Generales (15%) | | | | 3,238.90 |
| | Utilidades (10%) | | | | 2,159.26 |
| | Total Valor De Venta | | | | 28,070.44 |

| TABLA 6.5.- RESUMEN DE COSTOS DEL PROYECTO | | | |
|---|---|---------------------|----------------|
| ITEM | DESCRIPCION | US\$ | % |
| 1 | CALDERA | 1,922,000.00 | 57.77% |
| 2 | TURBINA | 1,122,200.00 | 33.73% |
| 3 | SISTEMA DE DISTRIBUCION DE VAPOR | 103,196.51 | 3.12% |
| 4 | ESTRUCTURAS PUENTE DE TUBERIAS | 109,542.76 | 3.29% |
| 5 | ESTRUCTURAS CASA DE MAQUINAS | 41,326.01 | 1.24% |
| 6 | OBRAS CIVILES | 28,070.44 | 0.84% |
| | TOTAL | 3,326,335.72 | 100.00% |

CONCLUSIONES

- El presente proyecto ha sido ejecutado parcialmente y en la actualidad se encuentra operando satisfactoriamente; sin embargo, se han presentado problemas operativos en los equipos. En primer lugar la caldera adquirida presenta problemas de ensuciamiento del hogar obligando a efectuar operaciones de mantenimiento con mayor frecuencia que lo normal, probablemente por que su diseño de tipo compacto se hizo pensando en el uso de gas como combustible. En segundo lugar, la turbina ha presentado problemas con el regulador de velocidad electrónico y de última generación, el cual, a pesar de ser de una marca muy conocida y sumamente confiable, no tiene una operación satisfactoria con constantes fallas de calibración y operación incorrecta de los dispositivos de control de las válvulas de admisión y extracción. Con todo esto podemos concluir que un diseño satisfactorio puede ser empañado por problemas operativos, que pueden surgir en algunos casos por la confianza excesiva en la marca de los equipos y en otros por no considerar en las especificaciones de los equipos aspectos que anteriormente no han causado problemas, como el del ensuciamiento excesivo por el uso de petróleo residual en lugar de gas en una caldera tipo compacto.

- Como resultado de la experiencia del diseño del sistema de distribución de vapor, el cual se realizó prácticamente en paralelo con la ejecución, podemos concluir que el resultado de todo diseño no siempre puede ejecutarse de manera exactamente igual a la propuesta y debe existir una etapa de realimentación con los resultados reales; sin embargo, si dicha realimentación se hace mientras se está diseñando se puede exceder largamente los límites de tiempo, por los constantes cambios introducidos antes de la finalización. Se debe definir claramente los plazos y limitar los cambios durante el diseño, salvo que dichos cambios sean fundamentales y una vez concluido el diseño recién proponer modificaciones y / o adecuaciones para la ejecución.
- La eficiencia es un aspecto fundamental en el uso de las turbinas a vapor en aplicaciones de cogeneración. Se ha comprobado que en el mercado existe una gran variedad de equipos que se pueden utilizar con el mismo salto entálpico. Los más costosos son por lo general más eficientes y el beneficio de su mejor eficiencia puede hacerlos más rentables y convertirlos la mejor alternativa económica.
- La cogeneración es una alternativa muy interesante para el suministro de energía eléctrica, siempre y cuando se tenga asegurado el consumo continuo de vapor. Durante la operación de este sistema la fábrica en varias oportunidades ha tenido que lanzar el vapor de proceso al aire (con la consecuente pérdida), a causa de una parada en las líneas de producción, para poder seguir generando electricidad y no exceder la carga contratada con su distribuidor. Esto nos demuestra que si se desea entrar en el negocio de la

energía eléctrica con una cogeneración de este tipo y bajo la normatividad actual, se deben considerar aspectos como la potencia firme y la disponibilidad del suministro, que son atractivamente remunerados, pero son objeto de penalidades en caso de no ser cumplidos. Esto lleva a condiciones adicionales en el equipamiento para asegurar la disponibilidad que pueden elevar significativamente la inversión.

- En el cuadro resumen de costos se observa que la caldera y la turbina representan más del 90% de la inversión. Esto confirma la importancia en la selección de estos equipos, pues un ahorro en su precio puede tener gran influencia en el total; sin embargo, es vital asegurarse de su calidad y confiabilidad. Por otro lado, el monto del sistema de distribución de vapor representa solamente el 3% del total, pero es el que determina en gran medida la eficiencia en la operación del conjunto, por lo que es importante un cuidadoso diseño e implementación, sin preocuparse particularmente por su costo.
- El uso de métodos y procedimientos normalizados por instituciones oficiales reconocidas, contribuye de manera importante al desarrollo de un proyecto como este, dándole respaldo y garantía de calidad ante el cliente, quien no siempre es un experto en la materia.
- El avance tecnológico en el campo de la computación ha permitido y facilitado muchísimo el desarrollo de este proyecto, quedando demostrado que la competitividad en el desarrollo de proyectos de ingeniería depende en gran medida de los recursos computacionales de que se disponga.

BIBLIOGRAFÍA

Criterios de diseño de plantas termoeléctricas, 1ª edición

Martiniano Aguilar Rodríguez

Editorial LIMUSA, México, 1981

Energy Cogeneration Handbook, 1ª edición

George Polimeros

Industrial Press Inc., New York, 1981

Piping Handbook, 5ta. edición

Reno King

McGraw-Hill Inc., New York, 1967

Instrumentación industrial, 2ª edición

Antonio Creus

Marcombo, México-Barcelona, 1981

Pressure Vessels – The ASME code simplified, 6ª edición

Robert Chuse – Stephen M. Eber

McGraw-Hill Inc., New York, 1984

Pipe flanges and flanged fittings – ANSI B16.5 - 1981

American National Standard

The American Society of Mechanical Engineers, 1981

Manual de Ingeniero Hütte III, traducción de la 28ª edición, 1971

Academia Hütte de Berlin

Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona

Procesos de transferencia de calor, 19ª edición, 1986

Donald Q. Kern

Compañía Editorial Continental, México

ANEXOS

ANEXO 1

CALCULO TERMICO DEL CICLO DE VAPOR

El proceso de expansión ideal en una turbina a vapor es isentrópico. En un diagrama de Molier se representa como una línea vertical desde las condiciones de entrada hasta la presión de salida, con el valor de la entropía constante en todo momento. El trabajo en este proceso es la diferencia entre la entalpía del fluido en la entrada de la máquina y la salida de la misma.

$$\Delta h_i = h_0 - h_{2i} \dots A.1.1$$

El proceso real implica pérdidas que se reflejan en una variación de la entropía, lo que hace que el proceso de expansión sea politrópico. En el diagrama de Molier se representa como una línea inclinada que parte de las condiciones de entrada y termina sobre la línea de presión de salida. El trabajo de la expansión real es la diferencia de entalpías entre entrada y salida.

$$\Delta h_r = h_0 - h_{2r} \dots A.1.2$$

Las pérdidas del proceso de expansión se expresan mediante el rendimiento interno, que viene a ser la relación entre la diferencia de entalpías real e ideal y su valor esta íntimamente ligado a diseño de la maquina y sus condiciones constructivas.

$$\eta_{ri} = \Delta h_r / \Delta h_i \dots A.1.3$$

Como sabemos, el estado del vapor está definido con dos condiciones; para la entrada son la presión y la temperatura y para la salida la presión y la entalpía real de salida.

El proceso de cálculo se inicia obteniendo de las tablas de vapor o del diagrama de Molier la entalpía y entropía de entrada con los valores de presión y temperatura de entrada. Luego, con la entropía de entrada y la presión de salida se obtiene la entalpía ideal de salida que nos sirve para calcular el trabajo de expansión ideal restando la entalpía de entrada menos la ideal de salida.

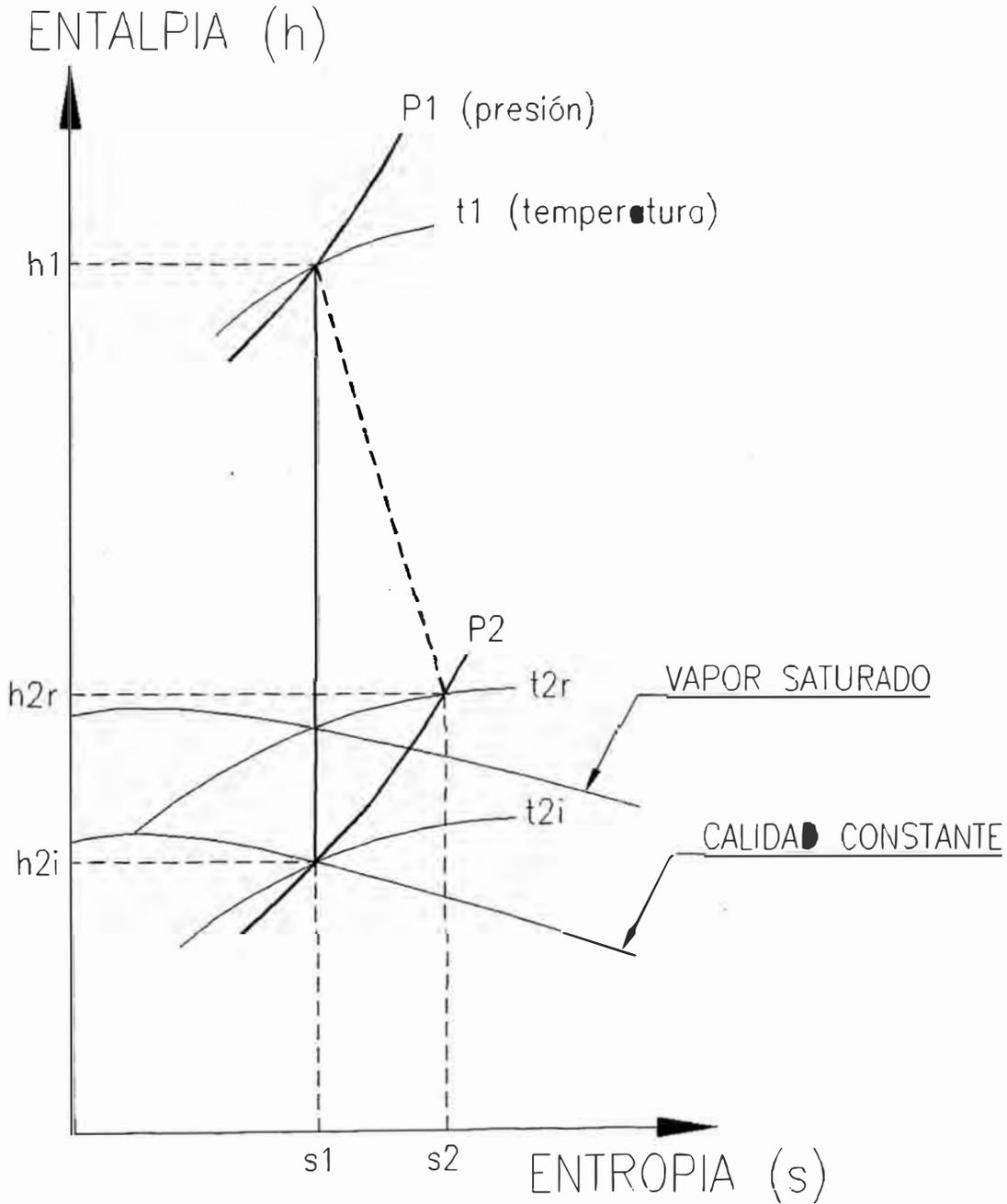
El trabajo de expansión real se obtiene afectando el valor del trabajo ideal con el rendimiento interno, el cual es inicialmente asumido de tablas proporcionadas por diversos estudios y ensayos disponibles; en nuestro caso utilizaremos los datos de la fig. 5.15 del libro "Energy cogeneration handbook" [2]. Los valores mostrados en esta figura dependen de la presión de entrada y de la potencia de la máquina. La entalpía real de salida se calcula restando la entalpía de entrada menos el trabajo de expansión real.

En las turbinas multietapa, el proceso se repite para cada etapa; sin embargo, el proceso total puede ser representado de la misma manera puesto que el estado del vapor no depende del proceso de transformación al que puede ser sometido. Más aún, los fabricantes de turbinas como las de este proyecto proporcionan la eficiencia de la máquina, relacionando las condiciones de salida con las de entrada. Esta eficiencia refleja el valor del rendimiento interno y todas las otras pérdidas del proceso (pérdidas por fricción en el fluido, pérdidas volumétricas, perdidas mecánicas, etc.), de manera que la potencia en el eje se obtiene directamente utilizando esta eficiencia de máquina.

La potencia de la máquina es el producto del trabajo de expansión ideal, afectado por la eficiencia de la máquina y multiplicado por el flujo másico de vapor.

A continuación se presenta las hojas de cálculo para las alternativas a) y c). El procedimiento de cálculo térmico es el que se ha descrito en párrafos anteriores.

FIGURA N° A-1.- DIAGRAMA ENTROPÍA-ENTALPIA PARA EL VAPOR DE AGUA



- ① CONDICIONES DEL VAPOR AL INICIO DE LA EXPANSION
- ②i CONDICIONES DEL VAPOR AL FINAL DE LA EXPANSION IDEAL (ISENTROPICA)
- ②r CONDICIONES DEL VAPOR AL FINAL DE LA EXPANSION REAL

CUADRO N° 4.3.A.- CALOR, POTENCIA, ENERGIA ELECTRICA, PRECIOS ALTERNATIVA a)

| CALOR, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y ENERGIA | | | |
|---|----------|-------------|-------------|
| CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA POR EL GENERADOR DE VAPOR | kJ/hr | 146,480,160 | 292,960,320 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA CON LOS CONDENSADOS | kJ/hr | 20,113,920 | 40,227,840 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA POR EL COMBUSTIBLE | kJ/hr | 126,366,240 | 252,732,480 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 15 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 44,325,481 | 88,650,961 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 5 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 68,282,422 | 136,564,845 |
| TOTAL CANTIDAD DE CALOR PARA VAPOR DE PROCESO | kJ/hr | 112,607,903 | 225,215,806 |
| CALOR ADICIONAL PARA LA COGENERACION | kJ/hr | 13,758,337 | 27,516,674 |
| PODER CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE | kJ/kg | 42,900 | 42,900 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR PARA EL PROCESO | GAL/hr | 760.73 | 1,521.45 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA EL CICLO DE COGENERACION | GAL/hr | 853.67 | 1,707.34 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE ADICIONAL | GAL/hr | 92.94 | 185.89 |
| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | kW | 2,145.47 | 4,290.95 |
| POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA | kW | 4,400.00 | 4,400.00 |
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | kWh/AÑO | 9,397,179 | 18,794,358 |
| ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA | kWh/AÑO | 19,272,000 | 19,272,000 |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | US\$/AÑO | 189,708 | 379,416 |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | US\$/AÑO | 563,831 | 1,127,661 |
| PRECIO DE CALDERA 30 bar, 325°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | US\$ | 350,000 | 1,100,000 |
| PRECIO DE TURBINA 30 bar, 325°C A 15 bar, 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 229,344 | 229,344 |
| PRECIO DE TURBINA 30 bar, 325°C A 5 bar, 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 331,547 | 331,547 |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | US\$/AÑO | 166,443 | 166,443 |

| CUADRO N° 4.2.A.- CALCULO TERMICO ALTERNATIVA a) | | | |
|---|--------|--------------------|--------------------|
| | | ETAPA 1 | ETAPA2 |
| ESTADO DEL VAPOR GENERADO Y CONSUMIDO | | | |
| PRESION DE GENERACION | bar | 30.00 | 30.00 |
| TEMPERATURA DE GENERACION | °C | 325.00 | 325.00 |
| VAPOR PRODUCIDO | kg/hr | 48,000.00 | 96,000.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 30 bar Y 325 °C | kg/hr | 2,170.00 | 4,340.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 15 bar Y 230 °C | kg/hr | 17,400.00 | 34,800.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 5 bar Y 175 °C | kg/hr | 28,430.00 | 56,860.00 |
| TEMPERATURA DE CONDENSADOS | °C | 100.00 | 100.00 |
| PROPIEDADES TERMICAS | | | |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 30 bar Y 325 °C | kJ/kg | 3,051.67 | 3,051.67 |
| ENTROPIA DEL VAPOR A 30 bar Y 325 °C | kJ/kg° | 6.6231 | 6.6231 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,893.65 | 2,893.65 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,697.65 | 2,697.65 |
| ENTALPIA DE LOS CONDENSADOS | kJ/kg | 419.04 | 419.04 |
| CALCULO TERMICO DEL CICLO DE VAPOR | | | |
| EFICIENCIA DE LA CALDERA | % | 95.00 | 95.00 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 15 bar | % | 53.91 | 53.91 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 5 bar | % | 65.21 | 65.21 |
| EFICIENCIA DEL ALTERNADOR | % | 96.00 | 96.00 |
| FACTOR DE CARGA | % | 50.00 | 50.00 |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 30 bar A 15 bar | kJ/kg | 158.02 | 158.02 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 30 bar A 15 bar | kJ/kg | 85.19 | 85.19 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 2,966.48 | 2,966.48 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 30 bar A 15 bar | kW | 395.28 | 790.55 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | °C | 252.62 | 252.62 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 30 bar A 5 bar | kJ/kg | 354.02 | 354.02 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 30 bar A 5 bar | kJ/kg | 230.86 | 230.86 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 2,820.81 | 2,820.81 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 30 bar A 5 bar | kW | 1,750.20 | 3,500.40 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 5 bar | °C | 163.99 | 163.99 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |

CUADRO N° 4.4.A.- FLUJO DE CAJA ALTERNATIVA a)

| VIDA UTIL | | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 |
|----------------------|-------------|-----------|-------------|---------------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | AÑOS | - | - |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (910,891) | 0 | 0 | 0 | (910,891) | (910,891) | (910,891) | (910,891) |
| 1 | 0 | (166,443) | (189,708) | 563,831 | 207,680 | (703,211) | 188,800 | (722,091) |
| 2 | 0 | (166,443) | (189,708) | 563,831 | 207,680 | (495,531) | 171,636 | (550,455) |
| 3 | 0 | (166,443) | (189,708) | 563,831 | 207,680 | (287,851) | 156,033 | (394,422) |
| 4 | 0 | (166,443) | (189,708) | 563,831 | 207,680 | (80,172) | 141,848 | (252,574) |
| 5 | (1,660,891) | (166,443) | (189,708) | 563,831 | (1,453,211) | (1,533,383) | (902,330) | (1,154,903) |
| 6 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | (1,118,023) | 234,460 | (920,444) |
| 7 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | (702,664) | 213,145 | (707,299) |
| 8 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | (287,304) | 193,768 | (513,530) |
| 9 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 128,056 | 176,153 | (337,377) |
| 10 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 543,415 | 160,139 | (177,238) |
| 11 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 958,775 | 145,581 | (31,657) |
| 12 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 1,374,134 | 132,346 | 100,689 |
| 13 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 1,789,494 | 120,315 | 221,004 |
| 14 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 2,204,853 | 109,377 | 330,381 |
| 15 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 2,620,213 | 99,434 | 429,815 |
| 16 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 3,035,572 | 90,394 | 520,209 |
| 17 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 3,450,932 | 82,177 | 602,386 |
| 18 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 3,866,291 | 74,706 | 677,092 |
| 19 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 4,281,651 | 67,915 | 745,006 |
| 20 | 0 | (332,886) | (379,416) | 1,127,661 | 415,360 | 4,697,010 | 61,741 | 806,747 |
| | | | | | | | VALORA ACTUAL NETO | 806,747 |
| | | | | | | | TASA INTERNA DE RETORNO | 17.07% |

CUADRO N° 4.2.C.- CALCULOS ALTERNATIVA c)

| | | ETAPA 1 | ETAPA2 |
|---|--------|-------------|-------------|
| ESTADO DEL VAPOR GENERADO Y CONSUMIDO | | | |
| PRESION DE GENERACION | bar | 60.00 | 60.00 |
| TEMPERATURA DE GENERACION | °C | 450.00 | 450.00 |
| VAPOR PRODUCIDO | kg/hr | 48,000.00 | 96,000.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 30 bar Y 325 °C | kg/hr | 2,170.00 | 4,340.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 15 bar Y 230 °C | kg/hr | 17,400.00 | 34,800.00 |
| VAPOR CONSUMIDO A 5 bar Y 175 °C | kg/hr | 28,430.00 | 56,860.00 |
| TEMPERATURA DE CONDENSADOS | °C | 100.00 | 100.00 |
| PROPIEDADES TERMICAS | | | |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 60 bar Y 450 °C | kJ/kg | 3,300.33 | 3,300.33 |
| ENTROPIA DEL VAPOR A 60 bar Y 450 °C | kJ/kg° | 6.7106 | 6.7106 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,939.67 | 2,939.67 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION ISENTROPICA | kJ/kg | 2,735.46 | 2,735.46 |
| ENTALPIA DE LOS CONDENSADOS | kJ/kg | 419.04 | 419.04 |
| CALCULO TERMICO DEL CICLO DE VAPOR | | | |
| EFICIENCIA DE LA CALDERA | % | 95.00 | 95.00 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 15 bar | % | 58.66 | 58.66 |
| EFICIENCIA DE EXPANSION EN LA TURBINA HASTA 5 bar | % | 64.52 | 64.52 |
| EFICIENCIA DEL ALTERNADOR | % | 96.00 | 96.00 |
| FACTOR DE CARGA | % | 80.00 | 80.00 |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 60 bar A 15 bar | kJ/kg | 360.66 | 360.66 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 60 bar A 15 bar | kJ/kg | 211.56 | 211.56 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 15 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 3,088.77 | 3,088.77 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 60 bar A 15 bar | kW | 981.65 | 1,963.31 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | °C | 290.05 | 290.05 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |
| SALTO ENTALPICO TEORICO DE 60 bar A 5 bar | kJ/kg | 564.87 | 564.87 |
| SALTO ENTALPICO REAL DE 60 bar A 5 bar | kJ/kg | 364.45 | 364.45 |
| ENTALPIA DEL VAPOR A 5 bar EN PROCESO DE EXPANSION REAL | kJ/kg | 2,935.88 | 2,935.88 |
| POTENCIA EN BORNES PARA LA EXPANSION DE 60 bar A 5 bar | kW | 2,763.05 | 5,526.10 |
| TEMPERATURA DEL VAPOR DE SALIDA A 5 bar | °C | 199.22 | 199.22 |
| CALIDAD DEL VAPOR DE SALIDA A 15 bar | | SOBRECALEN. | SOBRECALEN. |

CUADRO Nº 4.3.C.- CALOR, POTENCIA, ENERGIA ELECTRICA, PRECIOS ALTERNATIVA c)

CALOR, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y ENERGIA

| | | | |
|---|----------|-------------|-------------|
| CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA POR EL GENERADOR DE VAPOR | kJ/hr | 158,415,840 | 316,831,680 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA CON LOS CONDENSADOS | kJ/hr | 20,113,920 | 40,227,840 |
| CANTIDAD DE CALOR ENTREGADA POR EL COMBUSTIBLE | kJ/hr | 138,301,920 | 276,603,840 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 15 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 46,453,247 | 92,906,494 |
| CANTIDAD DE CALOR PARA GENERAR VAPOR 5 bar PARA PROCESO | kJ/hr | 71,553,644 | 143,107,288 |
| TOTAL CANTIDAD DE CALOR PARA VAPOR DE PROCESO | kJ/hr | 118,006,891 | 236,013,782 |
| CALOR ADICIONAL PARA LA COGENERACION | kJ/hr | 20,295,029 | 40,590,058 |
| PODER CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE | kJ/kg | 42,900 | 42,900 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR PARA EL PROCESO | GAL/hr | 797.20 | 1,594.40 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA EL CICLO DE COGENERACION | GAL/hr | 934.30 | 1,868.61 |
| CONSUMO DE COMBUSTIBLE ADICIONAL | GAL/hr | 137.10 | 274.21 |
| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | kW | 3,744.70 | 7,489.40 |
| POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA | kW | 4,400.00 | 4,400.00 |
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | kWh/AÑO | 26,242,866 | 52,485,733 |
| ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA | kWh/AÑO | 30,835,200 | 30,835,200 |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | US\$/AÑO | 447,744 | 895,487 |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | US\$/AÑO | 1,574,572 | 3,149,144 |
| PRECIO DE CALDERA 60 bar, 450°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | US\$ | 2,200,000 | 2,200,000 |
| PRECIO DE TURBINA 60 bar, 450°C A 15 bar, 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 458,688 | 458,688 |
| PRECIO DE TURBINA 60 bar, 450°C A 5 bar, 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 663,093 | 663,093 |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | US\$/AÑO | 534,410 | 534,410 |

CUADRO N° 4.4 C.- FLUJO DE CAJA ALTERNATIVA c)

| VIDA UTIL | | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | AÑOS | - | - |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (3,321,781) | 0 | 0 | 0 | (3,321,781) | (3,321,781) | (3,321,781) | (3,321,781) |
| 1 | 0 | (534,410) | (447,744) | 1,574,572 | 592,419 | (2,729,363) | 538,562 | (2,783,219) |
| 2 | 0 | (534,410) | (447,744) | 1,574,572 | 592,419 | (2,136,944) | 489,602 | (2,293,617) |
| 3 | 0 | (534,410) | (447,744) | 1,574,572 | 592,419 | (1,544,525) | 445,093 | (1,848,524) |
| 4 | 0 | (534,410) | (447,744) | 1,574,572 | 592,419 | (952,107) | 404,630 | (1,443,894) |
| 5 | (3,321,781) | (534,410) | (447,744) | 1,574,572 | (2,729,363) | (3,681,469) | (1,694,719) | (3,138,613) |
| 6 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | (2,496,632) | 668,810 | (2,469,803) |
| 7 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | (1,311,794) | 608,009 | (1,861,795) |
| 8 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | (126,957) | 552,735 | (1,309,059) |
| 9 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 1,057,880 | 502,487 | (806,572) |
| 10 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 2,242,718 | 456,806 | (349,766) |
| 11 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 3,427,555 | 415,278 | 65,512 |
| 12 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 4,612,392 | 377,526 | 443,038 |
| 13 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 5,797,230 | 343,205 | 786,243 |
| 14 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 6,982,067 | 312,005 | 1,098,248 |
| 15 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 8,166,905 | 283,641 | 1,381,888 |
| 16 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 9,351,742 | 257,855 | 1,639,743 |
| 17 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 10,536,579 | 234,414 | 1,874,157 |
| 18 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 11,721,417 | 213,103 | 2,087,261 |
| 19 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 12,906,254 | 193,730 | 2,280,991 |
| 20 | 0 | (1,068,819) | (895,487) | 3,149,144 | 1,184,837 | 14,091,091 | 176,119 | 2,457,109 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | | 2,457,109 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 16.73% |

ANEXO 2

ESTIMACIÓN DE UNA TURBINA A VAPOR CON EXTRACCIÓN AUTOMÁTICA

METODO DE ESTIMACIÓN DE TURBINAS A VAPOR CON EXTRACCIÓN AUTOMÁTICA

Para estimar el comportamiento de la turbina, primero se debe encontrar el consumo específico teórico de vapor TSR1, desde las condiciones de entrada hasta la salida; el consumo específico teórico TSR2 desde las condiciones de entrada hasta la presión de extracción, ambas de las tablas de vapor como el valor inverso de la diferencia de entalpías entre condiciones de entrada y salida y la eficiencia η para la correspondiente presión de entrada y potencia deseada de la turbina de la tabla A.2.1.

El consumo real (nominal) sin extracción es:

$$m = \text{TSR1} \times \text{Potencia} / \eta \dots\dots \text{A.2.2}$$

Este consumo es representado por el punto A en la figura A.2.5.

El factor de flujo a media carga, (tabla A.2.4) multiplicado por el consumo real sin extracción A nos da el consumo a media carga, representado por B en A.2.5.

AB es parte de la línea de Williams para la operación de la maquina con condensación completa.

Con el calculo de TSR1 / TSR2 se tiene el factor de extracción (gráf. A.2.3).

El máximo flujo de extracción esta representado por F.

El factor de extracción E multiplicado por el máximo flujo de extracción, F, representa la cantidad en que debe incrementarse el flujo a potencia nominal sin extracción, en todos los puntos de operación a carga parcial para permitir la extracción manteniendo la potencia deseada del generador. Por lo tanto, el flujo de vapor en la entrada par obtener la máxima extracción debe ser $A + (E \times F)$ y esta representado por C en la figura A.2.5.

Puesto que $(E \times F)$ es una adición al flujo de condensación a todas las cargas parciales, la línea de flujo de extracción constante puede dibujarse paralela a AB a través de C. Las líneas de menor flujo de extracción se dibujan paralelas a AB a distancias proporcionales a la cantidad de extracción. Siendo así, AC se divide en partes iguales para iguales porciones del máximo flujo de extracción sobre las cuales se trazan paralelas a AB.

El mínimo flujo de salida, dado en la figura A.2.4, es necesario para prevenir el sobrecalentamiento en la parte de baja presión de la turbina. El mínimo flujo de entrada para cada valor de extracción se encuentra marcando los puntos sobre las líneas de extracción en donde el flujo de entrada es igual al mínimo flujo de salida más la extracción. Al unir estos puntos con una línea se obtiene el límite izquierdo de operación en el diagrama.

La línea de máximo flujo de extracción se encuentra trazándola sobre cada punto en cada línea de extracción donde el flujo de entrada es igual al flujo nominal sin extracción (A) más la extracción.

| POTENCIA EN BORNES | PRESION DE ENTRADA (bar) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 10.33 | 13.77 | 17.22 | 20.66 | 27.55 | 41.32 | 58.54 |
| | EFICIENCIA | | | | | | |
| 500 | 60.00% | 59.50% | 58.50% | 58.00% | 56.50% | 54.50% | |
| 625 | 61.50% | 61.00% | 60.50% | 60.00% | 58.00% | 56.00% | |
| 750 | 63.00% | 62.50% | 62.00% | 61.00% | 59.50% | 57.50% | |
| 1000 | 65.00% | 64.50% | 64.00% | 63.00% | 62.00% | 60.00% | |
| 1250 | 66.50% | 66.00% | 65.40% | 64.50% | 63.50% | 61.50% | |
| 1500 | 67.50% | 67.00% | 66.50% | 65.60% | 64.50% | 63.00% | |
| 2000 | 69.00% | 68.50% | 68.00% | 67.50% | 66.30% | 64.50% | |
| 2500 | 70.00% | 69.50% | 69.00% | 68.50% | 67.50% | 66.00% | |
| 3000 | 71.00% | 70.50% | 70.00% | 69.50% | 68.50% | 67.00% | |
| 3500 | 71.50% | 71.00% | 70.50% | 70.00% | 69.40% | 68.00% | |
| 4000 | 72.00% | 71.50% | 71.00% | 70.50% | 70.00% | 68.50% | |
| 5000 | 72.80% | 72.30% | 71.80% | 71.30% | 70.80% | 69.50% | 68.50% |
| 6000 | 73.50% | 73.00% | 72.50% | 72.00% | 71.50% | 70.50% | 69.50% |
| 6800 | 73.78% | 73.16% | 72.77% | 72.27% | 71.78% | 71.05% | 70.05% |
| 7500 | 74.00% | 73.50% | 73.00% | 72.50% | 72.00% | 71.50% | 70.50% |

TABLA A.2.1.- Eficiencias para turbinas con una extracción, a plena carga y sin extracción

| POTENCIA (kW) | Factor H |
|---------------|----------|
| 625 | 59.00% |
| 1250 | 58.50% |
| 2500 | 58.00% |
| 4000 | 57.50% |
| 6500 | 57.00% |

TABLA A.2.2.- Factor de operación a media carga H

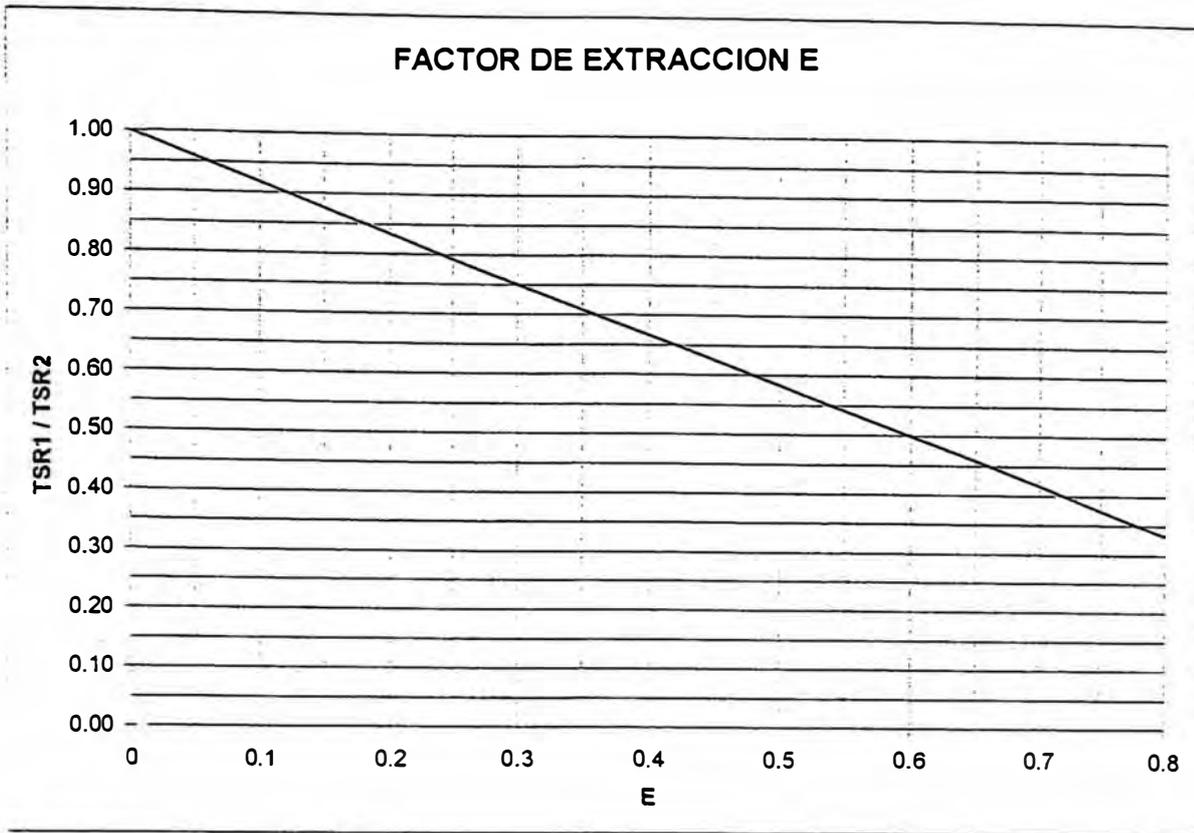


FIG. A.2.3.- Factor de extracción E

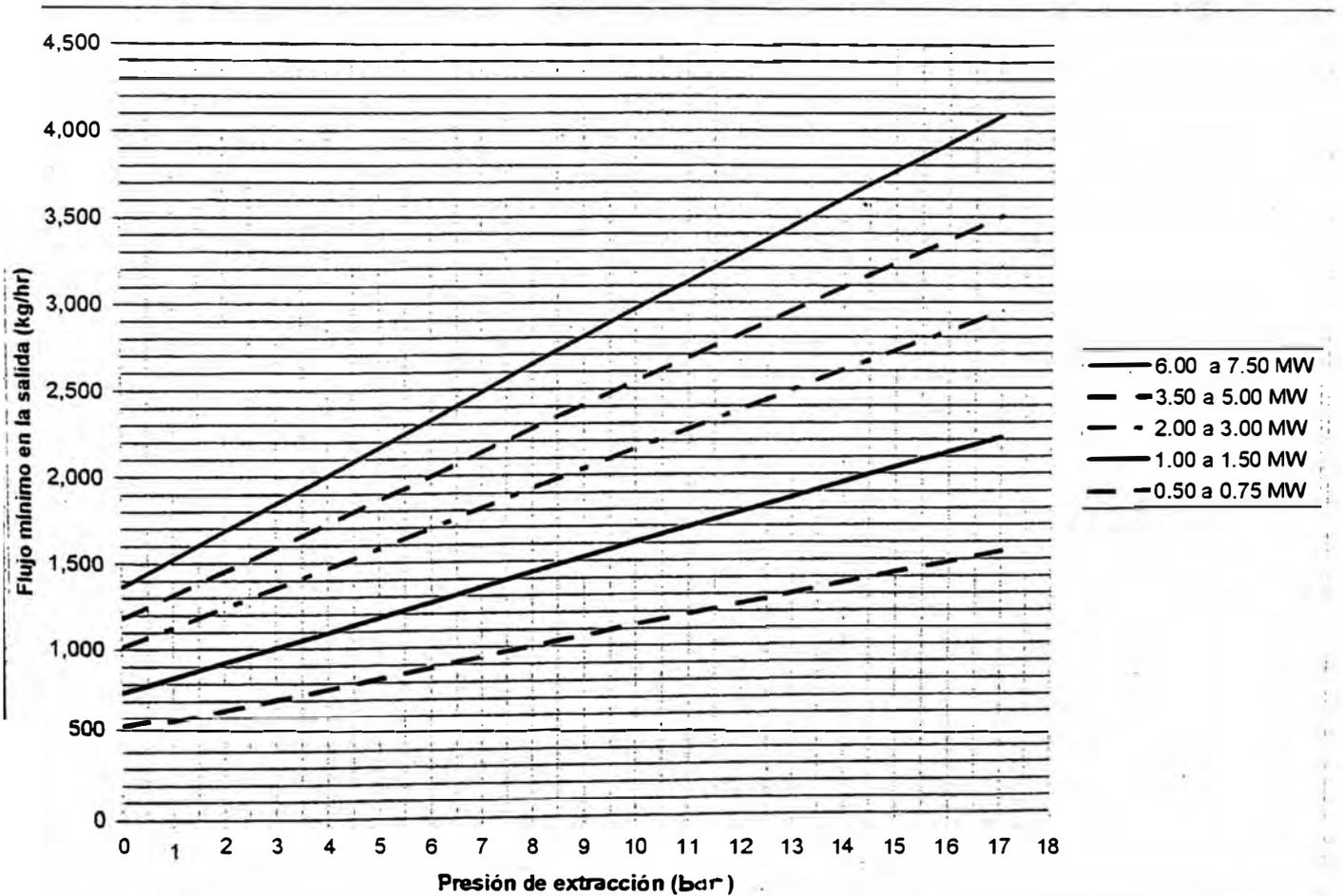


FIG. A.2.4.- Mínimo flujo de vapor en la salida para asegurar enfriamiento adecuado de la sección de baja presión

APLICACIÓN A NUESTRO CASO B

$$P_0 = 45 \text{ bar}$$

$$t_0 = 420^\circ\text{C}$$

$$h_0 = 3250.49 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = 6.7611 \text{ kJ/kg}^\circ$$

$$P_2 = 5 \text{ bar}$$

$$s_2 = 6.7611 \text{ kJ/kg}^\circ$$

$$h_{2i} = 2757.30 \text{ kJ/kg}$$

$$P_{\text{extr}} = 15 \text{ bar}$$

$$h_{\text{extr}} = 2967.31 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{TSR}_1 = 1 / (h_0 - h_{2i}) = 0.002028 \text{ kg/kJ}$$

$$\text{TSR}_2 = 1 / (h_0 - h_{\text{extr}}) = 0.003531 \text{ kg/kJ}$$

$$\eta = 66.61\%$$

Asumiendo la potencia nominal y recalculando todo el proceso se consigue una potencia de 2991 kW para el consumo deseado en nuestro caso ($9.1 \text{ kg / s} = 32 \text{ TM / hr}$).

$$A = \text{TSR}_1 \times \text{Potencia kW} / \eta = 9.1069 \text{ kg/s} = 32\,785 \text{ kg/hr}$$

$$H = 57.28\%$$

$$B = A \times H = 5.2645 \text{ kg / s} = 18\,851 \text{ kg/hr}$$

$$\text{TSR}_1 / \text{TSR}_2 = 0.5742$$

$$E = 74.97\%$$

$$F = 4.83 \text{ kg/s} = 17\,388 \text{ kg/hr}$$

$$C = A + (E \times F) = 12.73 \text{ kg/s} = 45\,828 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Flujo m\u00ednimo en la salida} = 2700 \text{ kg/hr} = 0.75 \text{ kg/s}$$

$$\text{Flujo m\u00ednimo en la entrada} = 2\,700 + 17\,388 = 20\,088 \text{ kg/hr}$$

Con todos estos valores preparamos el gr\u00e1fico A.2.5

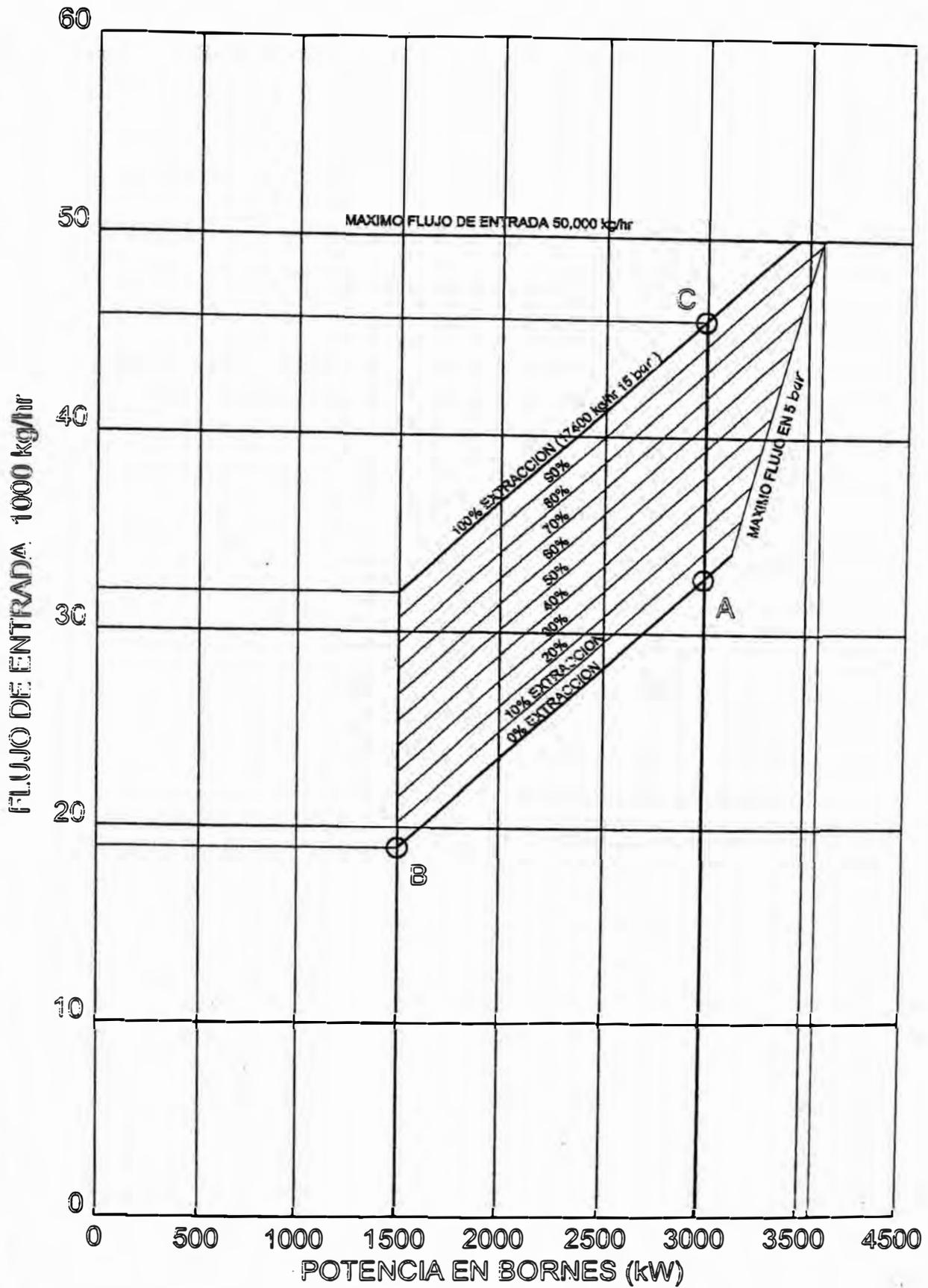


FIG. A.2.5 ESTIMACION DEL COMPORTAMIENTO DE UNA TURBINA A VAPOR CON EXTRACCIÓN AUTOMÁTICA

ANEXO 3

**CALCULOS DEL ANÁLISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS
PRESENTADAS.**

CUADRO 4.8.A.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO A

| | | | |
|------------------------------|---------|---------------|------------|
| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | kW | 2,972.00 | 5,944.00 |
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | kWh/AÑO | 20,827,776.00 | 41,655,552 |

| PRECIOS (Julio 1995) | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | | | | | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 | |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | | | | | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 | |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | | | | | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 | |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | | | | | US\$/AÑO | 1,249,667 | 2,499,333 | |
| PRECIO DE CALDERA 45 bar , 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 | |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 15 bar , 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 217,600 | 217,600 | |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 5 bar , 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 320,000 | 320,000 | |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | US\$/AÑO | 218,763 | 218,763 | |
| VIDA UTIL | | | | | ANOS | 20.00 | 20.00 | |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | % | 10.00 | 10.00 | |
| FINANCIAMIENTO | | | | | ANOS | - | - | |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (2,187,631) | 0 | 0 | 0 | (2,187,631) | (2,187,631) | (2,187,631) | (2,187,631) |
| 1 | 0 | (218,763) | (399,097) | 1,249,667 | 631,807 | (1,555,824) | 574,370 | (1,613,261) |
| 2 | 0 | (218,763) | (399,097) | 1,249,667 | 631,807 | (924,017) | 522,154 | (1,091,107) |
| 3 | 0 | (218,763) | (399,097) | 1,249,667 | 631,807 | (292,210) | 474,686 | (616,421) |
| 4 | 0 | (218,763) | (399,097) | 1,249,667 | 631,807 | 339,596 | 431,533 | (184,888) |
| 5 | (2,187,631) | (218,763) | (399,097) | 1,249,667 | (1,555,824) | (1,216,228) | (966,044) | (1,150,932) |
| 6 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 47,386 | 713,277 | (437,656) |
| 7 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 1,311,000 | 648,434 | 210,778 |
| 8 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 2,574,613 | 589,485 | 800,263 |
| 9 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 3,838,227 | 535,896 | 1,336,159 |
| 10 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 5,101,841 | 487,178 | 1,823,336 |
| 11 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 6,365,454 | 442,889 | 2,266,225 |
| 12 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 7,629,068 | 402,626 | 2,668,852 |
| 13 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 8,892,681 | 366,024 | 3,034,875 |
| 14 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 10,156,295 | 332,749 | 3,367,624 |
| 15 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 11,419,909 | 302,499 | 3,670,123 |
| 16 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 12,683,522 | 274,999 | 3,945,123 |
| 17 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 13,947,136 | 249,999 | 4,195,122 |
| 18 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 15,210,750 | 227,272 | 4,422,394 |
| 19 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 16,474,363 | 206,611 | 4,629,005 |
| 20 | 0 | (437,526) | (798,193) | 2,499,333 | 1,263,614 | 17,737,977 | 187,828 | 4,816,833 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | 4,816,833 | |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | 28.5864% | |

CUADRO 4.8.B.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO B

| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | | kW | 3,796.00 | 7,592.00 |
|---|-------------|-----------|-------------|---------------------------|------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | | kWh/AÑO | 26,602,368.00 | 53,204,736 |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | | | | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | | | | | | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | | | | | | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | | | | | | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | | | | | | US\$/AÑO | 1,596,142 | 3,192,284 |
| PRECIO DE CALDERA 45 bar , 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | | | | | | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 |
| DE TURBINA 45 bar , 420°C A 15 bar , 17.5tm/hr, 5 bar 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | | US\$ | 1,121,569 | 1,121,569 |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | | US\$/AÑO | 277,160 | 277,160 |
| VIDA UTIL | | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | AÑOS | - | - |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (2,771,599) | 0 | 0 | 0 | (2,771,599) | (2,771,599) | (2,771,599) | (2,771,599) |
| 1 | 0 | (277,160) | (399,097) | 1,596,142 | 919,885 | (1,851,714) | 836,260 | (1,935,340) |
| 2 | 0 | (277,160) | (399,097) | 1,596,142 | 919,885 | (931,828) | 760,236 | (1,175,104) |
| 3 | 0 | (277,160) | (399,097) | 1,596,142 | 919,885 | (11,943) | 691,124 | (483,980) |
| 4 | 0 | (277,160) | (399,097) | 1,596,142 | 919,885 | 907,942 | 628,294 | 144,314 |
| 5 | (2,771,599) | (277,160) | (399,097) | 1,596,142 | (1,851,714) | (943,771) | (1,149,769) | (1,005,455) |
| 6 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 895,999 | 1,038,503 | 33,048 |
| 7 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 2,735,770 | 944,093 | 977,141 |
| 8 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 4,575,541 | 858,267 | 1,835,408 |
| 9 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 6,415,312 | 780,242 | 2,615,650 |
| 10 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 8,255,083 | 709,311 | 3,324,962 |
| 11 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 10,094,854 | 644,828 | 3,969,790 |
| 12 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 11,934,625 | 586,208 | 4,555,998 |
| 13 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 13,774,396 | 532,916 | 5,088,914 |
| 14 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 15,614,167 | 484,469 | 5,573,383 |
| 15 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 17,453,938 | 440,427 | 6,013,810 |
| 16 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 19,293,709 | 400,388 | 6,414,198 |
| 17 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 21,133,480 | 363,989 | 6,778,186 |
| 18 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 22,973,251 | 330,899 | 7,109,085 |
| 19 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 24,813,022 | 300,817 | 7,409,903 |
| 20 | 0 | (554,320) | (798,193) | 3,192,284 | 1,839,771 | 26,652,793 | 273,470 | 7,683,373 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | | 7,683,373 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 33.0116% |

CUADRO 4.8.C.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO C

| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | kW | 3,797.00 | 7,594.00 | |
|--|-------------|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | kWh/ANO | 26,609,376 | 53,218,752 | |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | | | | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | | | | | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 | |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | | | | | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 | |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | | | | | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 | |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | | | | | US\$/AÑO | 1,596,563 | 3,193,125 | |
| PRECIO DE CALDERA 45 BAR, 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 | |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar 420°C A 15 bar, 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 473,600 | 473,600 | |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 5 bar , 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 680,000 | 680,000 | |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | US\$/AÑO | 280,363 | 280,363 | |
| VIDA UTIL | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 | |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | % | 10.00 | 10.00 | |
| FINANCIAMIENTO | | | | | AÑOS | - | - | |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (2,803,631) | 0 | 0 | 0 | (2,803,631) | (2,803,631) | (2,803,631) | (2,803,631) |
| 1 | 0 | (280,363) | (399,097) | 1,596,563 | 917,103 | (1,886,528) | 833,730 | (1,969,901) |
| 2 | 0 | (280,363) | (399,097) | 1,596,563 | 917,103 | (969,425) | 757,936 | (1,211,965) |
| 3 | 0 | (280,363) | (399,097) | 1,596,563 | 917,103 | (52,322) | 689,033 | (522,932) |
| 4 | 0 | (280,363) | (399,097) | 1,596,563 | 917,103 | 864,780 | 626,394 | 103,462 |
| 5 | (2,803,631) | (280,363) | (399,097) | 1,596,563 | (1,886,528) | (1,021,748) | (1,171,385) | (1,067,924) |
| 6 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 812,458 | 1,035,361 | (32,562) |
| 7 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 2,646,664 | 941,238 | 908,675 |
| 8 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 4,480,869 | 855,670 | 1,764,345 |
| 9 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 6,315,075 | 777,882 | 2,542,228 |
| 10 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 8,149,281 | 707,166 | 3,249,393 |
| 11 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 9,983,486 | 642,878 | 3,892,271 |
| 12 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 11,817,692 | 584,434 | 4,476,706 |
| 13 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 13,651,897 | 531,304 | 5,008,010 |
| 14 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 15,486,103 | 483,004 | 5,491,013 |
| 15 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 17,320,309 | 439,094 | 5,930,108 |
| 16 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 19,154,514 | 399,177 | 6,329,284 |
| 17 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 20,988,720 | 362,888 | 6,692,172 |
| 18 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 22,822,926 | 329,898 | 7,022,070 |
| 19 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 24,657,131 | 299,907 | 7,321,977 |
| 20 | 0 | (560,726) | (798,193) | 3,193,125 | 1,834,206 | 26,491,337 | 272,643 | 7,594,620 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | 7,594,620 | |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 32.5230% |

CUADRO 4.8.D.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO D

| POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | kW | 3,824.00 | 7,648.00 | |
|--|-------------|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | kWh/ANO | 26,798,592 | 53,597,184 | |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | | | | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | | | | | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 | |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | | | | | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 | |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | | | | | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 | |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | | | | | US\$/AÑO | 1,607,916 | 3,215,831 | |
| PRECIO DE CALDERA 45 bar , 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 | |
| DE TURBINA 45 bar , 420°C A 15 bar, 17.5tm/hr, 5 bar 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | US\$ | 1,700,000 | 1,700,000 | |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | US\$/AÑO | 335,003 | 335,003 | |
| VIDA UTIL | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 | |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | % | 10.00 | 10.00 | |
| FINANCIAMIENTO | | | | | AÑOS | - | - | |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (3,350,031) | 0 | 0 | 0 | (3,350,031) | (3,350,031) | (3,350,031) | (3,350,031) |
| 1 | 0 | (335,003) | (399,097) | 1,607,916 | 873,816 | (2,476,215) | 794,378 | (2,555,653) |
| 2 | 0 | (335,003) | (399,097) | 1,607,916 | 873,816 | (1,602,399) | 722,162 | (1,833,491) |
| 3 | 0 | (335,003) | (399,097) | 1,607,916 | 873,816 | (728,583) | 656,511 | (1,176,980) |
| 4 | 0 | (335,003) | (399,097) | 1,607,916 | 873,816 | 145,232 | 596,828 | (580,152) |
| 5 | (3,350,031) | (335,003) | (399,097) | 1,607,916 | (2,476,215) | (2,330,983) | (1,537,535) | (2,117,687) |
| 6 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | (583,351) | 986,492 | (1,131,195) |
| 7 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 1,164,280 | 896,811 | (234,383) |
| 8 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 2,911,912 | 815,283 | 580,900 |
| 9 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 4,659,543 | 741,166 | 1,322,066 |
| 10 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 6,407,175 | 673,788 | 1,995,854 |
| 11 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 8,154,807 | 612,534 | 2,608,388 |
| 12 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 9,902,438 | 556,849 | 3,165,237 |
| 13 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 11,650,070 | 506,227 | 3,671,464 |
| 14 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 13,397,701 | 460,206 | 4,131,670 |
| 15 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 15,145,333 | 418,369 | 4,550,039 |
| 16 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 16,892,964 | 380,336 | 4,930,374 |
| 17 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 18,640,596 | 345,760 | 5,276,134 |
| 18 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 20,388,227 | 314,327 | 5,590,461 |
| 19 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 22,135,859 | 285,752 | 5,876,213 |
| 20 | 0 | (670,006) | (798,193) | 3,215,831 | 1,747,632 | 23,883,490 | 259,774 | 6,135,987 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | 6,135,987 | |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 25.6743% |

CUADRO 4.8.E.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO E
POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA kW

| | | | | | | 3,632.00 | 7,264.00 | |
|---|-------------|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | | | | | | kWh/AÑO | 25,453,056 | 50,906,112 |
| PRECIOS (Julio 1995) | | | | | | | | |
| PRECIO DEL PETROLEO R5 | | | | | | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | | | | | | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | | | | | | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 |
| INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | | | | | | US\$/AÑO | 1,527,183 | 3,054,367 |
| PRECIO DE CALDERA 45 bar , 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | | | | | | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 15 bar , 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | | US\$ | 473,600 | 473,600 |
| PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 5 bar , 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | | | | | | US\$ | 715,000 | 715,000 |
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | | | | | | US\$/AÑO | 283,863 | 283,863 |
| VIDA UTIL | | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | AÑOS | - | - |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ |
| 0 | (2,838,631) | 0 | 0 | 0 | (2,838,631) | (2,838,631) | (2,838,631) | (2,838,631) |
| 1 | 0 | (283,863) | (399,097) | 1,527,183 | 844,224 | (1,994,407) | 767,476 | (2,071,155) |
| 2 | 0 | (283,863) | (399,097) | 1,527,183 | 844,224 | (1,150,184) | 697,705 | (1,373,449) |
| 3 | 0 | (283,863) | (399,097) | 1,527,183 | 844,224 | (305,960) | 634,278 | (739,172) |
| 4 | 0 | (283,863) | (399,097) | 1,527,183 | 844,224 | 538,264 | 576,616 | (162,556) |
| 5 | (2,838,631) | (283,863) | (399,097) | 1,527,183 | (1,994,407) | (1,456,144) | (1,238,370) | (1,400,925) |
| 6 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 232,304 | 953,084 | (447,841) |
| 7 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 1,920,751 | 866,440 | 418,599 |
| 8 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 3,609,198 | 787,673 | 1,206,272 |
| 9 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 5,297,645 | 716,066 | 1,922,339 |
| 10 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 6,986,093 | 650,969 | 2,573,308 |
| 11 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 8,674,540 | 591,790 | 3,165,099 |
| 12 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 10,362,987 | 537,991 | 3,703,090 |
| 13 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 12,051,434 | 489,083 | 4,192,173 |
| 14 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 13,739,882 | 444,621 | 4,636,794 |
| 15 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 15,428,329 | 404,201 | 5,040,995 |
| 16 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 17,116,776 | 367,455 | 5,408,450 |
| 17 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 18,805,223 | 334,050 | 5,742,501 |
| 18 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 20,493,670 | 303,682 | 6,046,183 |
| 19 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 22,182,118 | 276,075 | 6,322,257 |
| 20 | 0 | (567,726) | (798,193) | 3,054,367 | 1,688,447 | 23,870,565 | 250,977 | 6,573,234 |
| VALORA ACTUAL NETO | | | | | | | | 6,573,234 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | | | | | | | | 29.4743% |

CUADRO 4.8.F.- ANALISIS DE RENTABILIDAD CASO F

| | | | | | | POTENCIA ELECTRICA PRODUCIDA | kw | 2,748.00 | 5,496.00 |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|------------------------|---------------|---|--------------|------------------------|------------|
| | | | | | | ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA | kWh/AÑO | 19,257,984 | 38,515,968 |
| PRECIOS (Julio 1996) | | | | | | PRECIO DEL PETROLEO R5 | US\$/GAL | 0.4660 | 0.4660 |
| | | | | | | PRECIO DE LA ELECTRICIDAD (ELECTROLIMA) | US\$/kWh | 0.0600 | 0.0600 |
| | | | | | | COSTO DEL COMBUSTIBLE ADICIONAL PARA COGENERACION | US\$/AÑO | 399,097 | 798,193 |
| | | | | | | INGRESO POR AHORRO Y VENTA DE ELECTRICIDAD | US\$/AÑO | 1,155,479 | 2,310,958 |
| | | | | | | PRECIO DE CALDERA 45 bar , 420°C, 50tm/hr, INTALADA EN SITIO | US\$ | 1,650,031 | 1,650,031 |
| | | | | | | PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 15 bar , 17.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 340,848 | 340,848 |
| | | | | | | PRECIO DE TURBINA 45 bar , 420°C A 5 bar , 28.5tm/hr, INSTALADA EN SITIO | US\$ | 456,960 | 456,960 |
| | | | | | | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | US\$/AÑO | 244,784 | 244,784 |
| VIDA UTIL | | | | | | AÑOS | 20.00 | 20.00 | |
| COSTO DE OPORTUNIDAD | | | | | | % | 10.00 | 10.00 | |
| FINANCIAMIENTO | | | | | | AÑOS | - | - | |
| AÑO | INVERSION | OPERACION | COMBUSTIBLE | ELECTRICIDAD PRODUCIDA | FLUJO DE CAJA | FLUJO ACUMULADO | VALOR ACTUAL | VALOR ACTUAL ACUMULADO | |
| | US\$ | | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | US\$ | |
| 0 | (2,447,839) | 0 | 0 | 0 | (2,447,839) | (2,447,839) | (2,447,839) | (2,447,839) | |
| 1 | 0 | (244,784) | (399,097) | 1,155,479 | 511,598 | (1,936,240) | 465,090 | (1,982,749) | |
| 2 | 0 | (244,784) | (399,097) | 1,155,479 | 511,598 | (1,424,642) | 422,809 | (1,559,941) | |
| 3 | 0 | (244,784) | (399,097) | 1,155,479 | 511,598 | (913,043) | 384,372 | (1,175,569) | |
| 4 | 0 | (244,784) | (399,097) | 1,155,479 | 511,598 | (401,445) | 349,429 | (826,140) | |
| 5 | (2,447,839) | (244,784) | (399,097) | 1,155,479 | (1,936,240) | (2,337,685) | (1,202,253) | (2,028,393) | |
| 6 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | (1,314,488) | 577,568 | (1,450,825) | |
| 7 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | (291,291) | 525,062 | (925,763) | |
| 8 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 731,906 | 477,329 | (448,434) | |
| 9 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 1,755,103 | 433,935 | (14,499) | |
| 10 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 2,778,300 | 394,487 | 379,988 | |
| 11 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 3,801,497 | 358,624 | 738,612 | |
| 12 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 4,824,694 | 326,022 | 1,064,634 | |
| 13 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 5,847,891 | 296,384 | 1,361,018 | |
| 14 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 6,871,088 | 269,440 | 1,630,458 | |
| 15 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 7,894,285 | 244,945 | 1,875,403 | |
| 16 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 8,917,482 | 222,677 | 2,098,080 | |
| 17 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 9,940,679 | 202,434 | 2,300,514 | |
| 18 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 10,963,876 | 184,031 | 2,484,545 | |
| 19 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 11,987,073 | 167,301 | 2,651,846 | |
| 20 | 0 | (489,568) | (798,193) | 2,310,958 | 1,023,197 | 13,010,270 | 152,092 | 2,803,938 | |
| | | | | | | VALORA ACTUAL NETO | | 2,803,938 | |
| | | | | | | TASA INTERNA DE RETORNO | | 20.1388% | |

ANEXO 4

ESPECIFICACIONES Y LISTA DE MATERIALES CORRESPONDIENTE AL SUMINISTRO DE LA CALDERA

| | | Petroleo residual 500 |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Fuel Load | % | 100 |
| Steam flow | lb/hr | 110,000 |
| Outlet Pressure | Psig | 652 <i>45 bar</i> |
| Steam Outlet Temp. | °F | 772 <i>420°C</i> |
| Feedwater Temp. | °F | 214 <i>140°C</i> |
| Excess Air | % | 25 |
| Heat Input (Fuel) | (10 ⁶) BTU/hr | 144.12 |
| Release Rate | (10 ³) BTU/hr-sq.ft. | 136.16 |
| Furnace Liberation | (10 ⁶) BTU/hr-cu.ft. | 94.56 |
| Fluo Gas Recirc. | % | 0 |
| Gas Temp. Ent. Econ. | °F | 715 |
| Final Exit Gas Temp. | °F | 350 |
| Ambiant Air Temp. | °F | 80 |
| Continuous Blowdown | % | 3 |
| Heat Losses | | |
| Dry Gas | % | 5.29 |
| Water from Fuel | % | 6.71 |
| Moisture in air | % | .14 |
| Radiation | % | .51 |
| Margin | % | 1.0 |
| Total Losses | % | 13.65 |
| Efficiency (HHV) | % | 86.35 |

Elevation: 0 FT

Humidity: 0.013 lb moisture/lb dry air @ 29.90 in. Hg. barometric pressure

Fuel Analysis: Petroleo residual 500 (% WT)

Higher Heating Value : ~~18,291.6 Btu/lb~~ 18,520 Btu/lb

| | |
|---------------|----------------|
| S | 1.3 |
| H | 12.7 |
| C | 85.0 |
| N | 0.5 |
| O | 0.5 |
| Total: | 100.00% |

SCOPE OF SUPPLY

BASE BOILER (Each)

- Base frame
- Steam drum and lower drum with grooved tube seats
- Diffuser type baffles steam separating equipment
- Bare surface generating tubes
- Membrane tubed baffle wall and furnace
- Hinged drum manway covers (12" x 16")
- Furnace access door through front wall (16" x 20")
- Sootblower bearings
- Waterwash drain connections
- Rear observation port and seal air piping from windbox
- Lower drum heating coil (optional)
- Sootblower wall boxes
- Upper furnace sidewall and roof - 4" fiberglass insulation and 12 gauge carbon steel outer casing
- Boiler sidewall - 2" OD membraned tubes, covered with 4" of fiberglass insulation, 12 gauge carbon steel plate, and 22 gauge, box-ribbed, galvanized carbon steel lagging
- Furnace rearwall - 2" OD studded tubes, covered with 4" of fiberglass insulation, 12 gauge carbon steel plate, and 22 gauge, box ribbed, galvanized carbon steel lagging
- Furnace side wall - 2-1/2" OD membraned tubes, covered with 4" of fiberglass insulation and 22 gauge, box-ribbed, galvanized carbon steel outer lagging
- Furnace front plate of 1/4 in. carbon steel plate
- Furnace front wall with floating alloy retainers, 9 inches of high temperature brick, and 1 inch of high temperature block insulation
- Domestic crating
- Shipment collars and tie downs, as required
- Submittal drawings: P & ID, General Arrangement, Electrical Schematic, Assembly Plan View, Load & Setting Plan
- Four (4) sets of operating instructions

SUPERHEATER

- Safety Valve
- Drain Valve(s)
- Vent Valve
- Butt weld outlet nozzle

BURNER

- One (1) Model 270 DAZ-34 FYR-COMPAK firing ~~Residual~~ Residual 500 oil

Operating data:

Heat Input = 144 MMBTU/HR
 Excess air = 15%
 Burner Pressure drop = 5.65 WC
 Turndown = 8:1
 Oil train inlet pressure required = 135 psig
 Steam train inlet pressure required = 165 psig
 Pilot train inlet pressure required = 5 psig
 Location: Outdoor - NEMA 4
 Elevation = 0 feet
 Combustion air temperature = 80 deg F

Equipment scope:

- 270 windbox with 1/4" front plate and 3/16" thick sides and inlet damper. Windbox mounted Chicago 4014 fan with 125 TEFEC 380V 60HZ motor with Piezo ring to be used for air flow measurement.
- DAZ Dual-Air Zone register burner with stainless steel shield.
- ~~As per drawing~~ pilot ~~valve~~ ~~trains~~ (standard construction).
- 3.5 steam atomized heavy oil gun with auxiliary atomizer arrangement for on line cleaning (spare to be used for auxiliary atomizer). Aspirating air rings included.
- 3/4" light oil train without control valve (standard construction).
- 1-1/2" Atomizing steam train with 2" Cash DP valve (standard construction). PRV and relief valve by others.
- Line mounted (5) 4-1/2" pressure gauges: (1) steam gauge, (2) #2 oil pressure gauges, and (1) oil temperature gauge.
- BMS-2000 Burner management system. Includes AB SLC-500, Annunciator with 2 N.O. auxiliary contacts per point, and (2) 48PT2 IR scanner and 3 H2O relays.
- One lot of SPDT pressure switches.
- Cold start air atomizing valves (mounted)
 One uninterrupted power system (UPS), housed in a NEMA 4 enclosure to handle voltage fluctuations. The UPS unit will have to be installed in a dry and cool area.
- (2) oil pump start/stop pushbutton/light in the BMS-2000 panel
- (2) feedwater pump start/stop pushbutton/light in the BMS-2000 panel
- (1) Spare main oil gun, complete assembly.

BOILER TRIM VALVES

- 1-Non-Return Valve
- 1-Main Steam Stop Valve
- 2-Safety relief valves
- 2-Lower drum blow-off valves
- 1-Water column/gauge glass w/drain valves
- 1-Low water fuel cut-off switch w/drain valve
- 1-Feedwater stop valve

- 1-Feedwater check valve
- 1-Continuous blowdown control valve
- 1-Continuous blowdown isolation valve
- 1-Steam drum vent valve
- 1-Chemical feed isolation valve
- 1-Steam gage/steam gage shutoff valve/steam gage test valve
- 1-LWFCO bypass pushbutton
- 2-Feedwater regulator isolation valves
- 1-Feedwater regulator by-pass valve

ECONOMIZER

Rectangular economizer, extended surface
 Gas flow - up, water flow - down
 Wall boxes and bearings for annual rotary soot blowers
 Inlet transition piece
 Outlet transition piece
 Expansion joint
 Support steel
 Economizer supported stub stack, 54" dia. x 50 ft. total elevation from economizer base
 Economizer F.W. isolation valves
 Economizer F.W. by-pass valve

DUPLEX OIL PUMP AND HEATER SET

Petrolco Retrieval 500
 One (1) 17.4 HDD 200# Duplex ~~oil~~ ~~pumping~~, straining and heating set. The set is designed for the following conditions:
Petrolco Retrieval 500
 Design Criteria: 17.4 GPM - ~~17.4~~ ~~200~~ ~~psig~~ oil discharge pressure - heat from 120 to 240°F - using (150) psig saturated steam - flooded suction - Electric: 380 volts, 3 phase, 60 hertz.

DUPLEX OIL PUMP AND HEATER SET (continued)

Equipment List:

- 1-Duplex suction strainer: 125# flange-cast iron body-1/16" brass perforated baskets
- 2-Positive displacement rotary screw pumps; with mechanical seals-cast iron casing
- 2-Flexible couplings and guards
- 2-Motors: 7 1/2 HP - 1750 RPM - TEFEC - 380V/3PH/60HZ - rigid base
- 2-Oil pump relief valves; NPT - set @ 240 psig - bronze body
- 1-Self contained oil back pressure regulator; NPT - set @ 200 psig cast iron body, with 3 valve bypass
- 1-Self contained temperature control valve - bronze body - with 3 valve bypass
- 1-Condensate trap; stainless steel body
- 2-Fuel oil heaters: heat 17.4 GPM of oil from 120 to 240°F - using 150 psig

Alvord

Attachment B
Page 4

May 26, 1994

saturated steam

- 2-Heater relief valves: NPT - set @ 300 psig - bronze body
- 1-Duplex discharge strainer - NPT- 250 # cast iron body - 1/32" brass perforated baskets
- 1-Electric fuel oil start-up heater, 48 KW, 380 V/ 3 PH/ 6 Hz, Thermostat in a weatherproof head
- 1-Relief valve, set at 300 #, bronze body
- 1-Compound gage: 30"-0-30#" - 4 1/2" dial
- 1-Thermometer: 30-240°F - 6" scale - with bronze well
- 1-Pressure gage and syphon; 0-360 psig - 4 1/2" dial
- 1-Pressure gage; 0-300 psig - 4 1/2" dial
- 1-Thermometers; 50-400°F - 6" scale - with bronze well

Valves: Cast iron or bronze bodies

Pipe: 2" and smaller, SA 106 seamless, Gr B, Sch 80
2 1/2" and larger, SA106 seamless, GR B, Sch 40

Fittings: 2" and smaller, M.L threaded, 300#
2 1/2" and larger, steel, butt welded

All equipment piped and mounted on a channel base plate with drip lip and drain (approximate size 14'0" long x 8'0" wide x 7'0" high)

Solvent cleaning and one coat of rust barrier paint.

Unit to be tested 1.5 times its operating pressure

BOILER CONTROLS

Fully metered combustion controls with oxygen trim and 3-element feedwater control system, to be installed in customer's control panel by others.

The controls are based on Fisher-Porter equipment and the following is the scope of supply:

Combustion Control System

- (2 ea) Single loop controllers - FP Mod. 53MCS212A
- (1 ea) Steam pressure transmitter - FP Mod. 50DP4100 A4E
- (1 ea) Air flow transmitter - FP Mod. 50DP4100A4B
- (1 ea) Fuel oil flow transmitter w/orifice plate - FP Mod. 50DP4100A4B
- (1 ea) FD fan damper actuator/positioner - Bailey Company Model AV 332200
- (1 ea) Fuel oil control valve - Fisher-Rosemount Mod. 667-EZ
- (1 ea) Steam Temp. transmitter - Marlin Mod. MI1573
- (1 ea) Oxygen analyzer system - Yokogawa Mod. ZABC-S-8
- (1 ea) Chart recorder, 4 pen - FP Mod. 2246-43 444-400
-Steam Flow w/totalizer

or Bailey

Amelick?
A. 20 m A

- Steam Temperature
- Steam pressure
- Excess O₂
- (1 ea) Chart Recorder, 4 pen, FP Mod. 2246-43 444 400
- Oil flow w/totalizer
- Feedwater flow
- Drum level
- Spare (could be used for gas flow in the future)

Feedwater Control System

- (1 ea) Single loop controller - FP Mod. 53MCS212A
- (1 ea) Drum level transmitter - FP Mod. 50DP4100 A4E
- (1 ea) Steam flow transmitter w/orifice plate - FP Mod. 50DP4100A4B
- (1 ea) Feedwater flow transmitter w/orifice plate - FP Mod. 50DP4100A4B
- (1 ea) Feedwater control valve - Fisher - Rosemount Mod. 667-EZ

or Bailey

Engineering Services

- Equipment specification
- System logic
- Documentation
- Installation check-out (with start-up services)

SOOTBLOWER(S)

- Two (2) G9B Manual Operated - Boilers, and Superheaters
- Two (2) G9B Manual Operated - Economizers
- Shut off valve
- Drain valve(s)

DUAL B.F.W. PUMPS SET

The proposed skidmounted package includes the following items:

- 2 each, Gould 3310H, 2.5 x 3 -7B, 10 stage pumps, with 200 hp TEA motors (3600 rpm, 380v, 60 hz, 3 phase). Pump capacity is 275 gpm @ 1810 ft. TDH.
- 2 each, 3", 600 class ARC valves for automatic recirculation (minimum flow control), with 2" flanged or welded recirculation line g valves.
- The 3" pump suction connections are expanded to 6" weld end connections. The discharge piping for each pump includes a 2-1/2" x 3" expander, 1" ARC valve, and a 3" 600 class flanged or welded gate valve. The 3" discharge piping is manifolded together and terminates at a weld end connection.

The entire unit is assembled on a single skid (approximate 8' x 10').

May 26, 1994

May 26, 1994

FEEDWATER PREHEAT SYSTEM

This equipment is designed to preheat 113300 lbs/hr of boiler feedwater at 208°F to 285°F using ~~650~~ ⁷²⁰ psi steam at 650 psi. The feedwater temperature will be maintained at the desired set point by an electronic temperature controller and a pneumatic control valve. All components come factory assembled and skid mounted.

- Shell & tube heat exchanger - 900 psi design pressure (water side)
- Steam strainer, 6" 250 psi " " (steam side)
- Pneumatic steam control valve with positioner Spirax SARCO EST, control valve 6"
- Temperature controller mounted in a NEMA 4 enclosure
- Pressure regulator pilot
- Thermometer Type 7 thermocouple with thermowell # 2212
- Steam trap, 2" Spirax SARCO
- Safety relief valve
- Inner connecting piping
- Mounted skid
- Unit comes painted with high temp. black

System requirements:

- Steam: 9670 5 bar and 175°C
- Instrument Air: 7000 lbs/hr at 60 psi and 75°F
- Electrical: 80 psi air supply for control valve None required
- 220 VAC/3 phase - None required

BOILER FEEDWATER CONT. BLOWDOWN CONTROL SYSTEM BY SENSING WATER CONDUCTIVITY

The unit will consist of:

- One water sample cooler with temp. indicator
- One conductivity sensor
- One self contained blow down electronic controller
- One cont. blowdown control valve
- One set of cont. blowdown by-pass valves

MOTOR CONTROL CENTER

- One (1) Siemens Energy and Automation motor control center Model 90 MCCA, NEMA 12 enclosure with the following items:
 - (1) MS-RVYD-0 NEMA 4 (CB) RE: F.D. Fan (Y-Delta type)
 - 1 CPT 200 VA
 - (2) MS-RVYD NEMA 5 (CB) RE: Feedwater pump (Y-Delta type)
 - 1 CPT 45 VA
 - 1 Interposing relay

-(2) MS-FVNR NEMA 1 (CB) RE: Fuel oil pump (direct)
1 CPT 45 VA

-Characteristics:

- System: 380V/3PH/60Hz
- Short circuit: 25,000A
- Bus bracking: 25,000A
- Main bus: 600A Aluminum
- Wiring: Class I, Type B
- Depth: 20"
- Width: 40"
- Height: 90"
- Est. Weight: 1,200 lbs.

Standard Boiler Platforms. NOT Included

CONTROL SHEET

Page 1 of 5

CUSTOMER: SUDAMERICANA
 MODEL NO. FM117-BB-LH
 UNIT DESIGN: 750 PSIG
 WRITTEN BY: T. D. RAO
 NO. OF MATERIALS: 10

TYPE OF FUEL: PETROLEO RESIDUAL OIL 500
 NO. OF UNITS: 1
 B&W JOB NO.: 201-3198
 ORIGINAL ISSUE: 8/14/95
 REVISION: 2
 DATE: 12/7/95

REMARKS: BABDOCK & MILCOX - BT COMPANY RESERVES THE RIGHT TO SUBSTITUTE MATERIAL OR EQUIPMENT OF EQUAL OR SUPERIOR QUALITY TO THOSE SPECIFIED.

| NO. | ITEM | DESCRIPTION | UNIT QUAN | STOCK NUMBER |
|-------|---------------------------------|--|-----------|--------------|
| A-1 | FM CONTROL ISOLATION VALVE | 3" NEWCO FIG 16FCB3, 3"x600# RF FLG. | 2 | 02-1016 |
| A-2 | FM CONTROL BYPASS VALVE | 3" NEWCO FIG 26FCB3, 3"x600# RF FLG. | 1 | 02-0327 |
| A-3 | FM CONTROL VALVE | 3" FISHER TYPE 667-ET-35021, 3"x600# RF FLG. | 1 | 02-3335 |
| A-4 | FM CHECK VALVE | 3" NEWCO FIG 36FCB3, 3"x600# RF FLG. | 1 | 02-2117 |
| A-5 | FM STOP VALVE | 3" NEWCO FIG 16FCB3, 3"x600# RF FLG. | 1 | 02-1016 |
| A-6 | STEAM SAMPLE VALVE | 1/2" VOGT 12141, 800# NPT, A105 | 1 | 02-0025 |
| A-7 | SAFETY VALVE | CONSOLIDATED MODEL 2715B, 1-1/2" 600# INLET X 3" 150# OUTLET SET @ 740 PSIG, 34,865 LB/HR SAT. STEAM, W/GAGS | 1 | 60-3198-1 |
| A-8 | SAFETY VALVE | CONSOLIDATED MODEL 2725B, 2" 600# INLET X 3" 150# OUTLET SET @ 760 PSIG, 51,636 LB/HR SAT. STEAM, W/GAGS | 1 | 60-3198-2 |
| A-9 | STEAM VENT VALVE | 1" VOGT 12141, 1" NPT | 1 | 02-0283 |
| A-10 | STEAM ATOM. PRV | 1" CASHCO 1000 NP, 100-300 PSIG, NPT | 1 | |
| A-11 | STEAM ATOM. SAFETY RELIEF VALVE | KNUKLE 9108H250 1-1/2" NPT INLET X 2-1/2" NPT OUTLET, "M" ORIFICE, SET @ 250 PSIG | 1 | 60-3198-3 |
| A-12 | STEAM ATOM. STOP VALVE | 1-1/2" VOGT NO. 12141, 800# NPT, A105 | 1 | 02-0283 |
| A-13 | STEAM ATOM CHECK VALVE | 1-1/2" VOGT NO. 701, 800# NPT, A105 | 1 | 02-2061 |
| A-14 | PRESS. GAUGE TEST VALVE | 1/4" K&F, NPT NEEDLE VALVE 13-14 | 1 | 02-0011 |
| A-15 | PRESSURE GAUGE SHUT-OFF | 1/2" K&F, NPT, NEEDLE VALVE, 13-12 | 1 | 02-0012 |
| A-16 | SIPHON | ASHCROFT 1/2-1098S | 1 | 23-5032 |
| A-17 | PRESSURE GAUGE | ASHCROFT 85-10108S-04L, 0-103 BARS, 8-1/2" DIAL, SS BOURDON TUBE, CAST IRON CASING, 1/2" LOWER CONNECTION | 1 | 12-0004 |
| A-18 | WATER COLUMN | CLARK-RELIANCE M0900-EA4 WATER COLUMN W/2 GAUGE CLASSES | | 43-0026 |
| A-18b | GAUGE GLASS | FLAT GAUGE GLASS, COMES WITH A-18 | 2 | -- |

"**" Denotes "ship loose" for field mounting by Purchaser.
 "R" Denotes items requisitioned by Engineering
 "NPT" Denotes Nominal Pipe Threaded Connections
 "SW" Denotes Socket Weld Connection
 "BW" Denotes Butt Weld Connection
 Note 1: Updated For Shipping Purpose

CONTROL SHEET
 Page 2 of 5

CUSTOMER: SUDAMERICANA
 EQUIPMENT: FM117-BB-LH

B&W JOB NO.: 201-3198
 REVISION LEVEL: 2
 REVISION DATE: 12/7/95

| NO. | ITEM | DESCRIPTION | UNIT QUAN | STOCK NUMBER |
|-------|-------------------------|--|-----------|-----------------|
| A-18c | GAUGE VALVES | COMES WITH A-18 | 4 | -- |
| A-18d | CHAINS | 7 FT. LONG EACH, COMES WITH A-18 | 4 | -- |
| A-18e | VISION HOODS | CLARK-RELIANCE WP-FG909 WEATHER PROOF DIRECT VISION HOOD FOR LEVEL GAUGE | 2 | P.O. 319800-307 |
| A-18f | ILLUMINATOR | CLARK-RELIANCE FG90V VERTICAL LAMP ILLUMINATOR FOR LEVEL GAUGE | 2 | P.O. 319800-307 |
| A-19 | LOW WATER FUEL CUTOFF | CLARK-RELIANCE EA-100S | 1 | 12-2033 |
| A-20 | WC DRAIN VALVE | 3/4" VOGT NO. 12141, 800# NPT | 1 | 02-0028 |
| A-21 | GAUGE GLASS DRAIN VALVE | 1/2" VOGT NO. 12141, 800# NPT | 2 | 02-0025 |
| A-22 | LOW WATER DRAIN VALVE | 3/4" VOGT NO. 12141, 800# NPT | 1 | 02-0028 |
| A-23 | CHEM. FEED CHECK VALVE | 1/2" VOGT NO. 701, 800# NPT | 1 | 02-2115 |
| A-24 | CHEM. FEED STOP VALVE | 1/2" VOGT 12141, 800# NPT. | 1 | 02-0025 |
| A-25 | SOOTBLOWER DRAIN | 3/4" VOGT NO. 12141, 800# NPT | 2 | 02-0028 |
| A-26 | SOOTBLOWER STOP | 2-1/2" NEWCO FIG. 16FCB3, 600#, FLANGED | 1 | 02-1012 |
| A-27 | SH SAFETY VALVE | CONSOLIDATED MODEL 2725B W/GAGS, 2" 600# INLET X 3" 150# OUTLET, SET @ 686 PSIG, 32,945 LB/HR OF STEAM @ 780°F | 1 | 60-3198 |
| A-28 | SH DRAIN VALVE | 1" VOGT 12501, 800# NPT | 1 | 02-0328 |
| A-29 | STEAM OUTLET HRV | NEWCO 26F-C123 NR, 8" 600#, FLANGED | 1 | 02-0309 |
| A-30 | STEAM OUTLET STOP VALVE | CRANE 76XU-C12, 8" 600#, FLANGED | 1 | 02-1009 |
| A-31 | DRAIN VALVE | 1" VOGT NO. 12501, 800# NPT | 1 | 02-0328 |
| A-32 | SH VENT VALVE | 3/4" VOGT NO. 12501, 800# NPT | 1 | 02-0329 |
| A-33 | BLOWOFF VALVE | 1-1/2" YARWAY TANDEM BLOWOFF VALVE 6978-6954L, 600# SA105 | 1 | 02-1521 |

"**" Denotes "ship loose" for field mounting by Purchaser.
 "R" Denotes items requisitioned by Engineering
 "NPT" Denotes Nominal Pipe Threaded Connections
 "SW" Denotes Socket Weld Connection
 "BW" Denotes Butt Weld Connection
 Note 1: Updated For Shipping Purpose

CUSTOMER: SUDAMERICANA
EQUIPMENT: FH117-08-LN

B&W JOB NO.: 201-3198
REVISION LEVEL: 2
REVISION DATE: 12/7/95

| NO. | ITEM | DESCRIPTION | UNIT QUAN | STOCK NUMBER |
|------|----------------------------------|---|------------------------------|---------------------|
| B-1 | BURNER | COEN MODEL 270S, DAZ-36 WITH BMS-2000 | 1 | P.O. 319800-301 |
| B-1a | F.O. FAN | COMES WITH B-1 | 1 | -- |
| B-1b | FUEL OIL CONTROL VALVE | FISHER 1" TYPE 667-EZ-39821, 1"x3000# FLG. | 1 | -- |
| C-1 | CBD SHUTOFF | 1" VOGT NO. 12141, 800#, NPT | 1 | 02-1156 |
| C-2 | CBD CONTROL ISOLATION | 1" VOGT NO. 12141, 800#, NPT | 1 | 02-1156 |
| C-3 | CBD CONTROL VALVE | MODEL 1711 BUDGET MEYER | 1 | P.O. NO. 319800-313 |
| C-4 | CBD CONTROL BYPASS | HANCOCK FIG 55258, 1" NPT 800# | 1 | 02-0353 |
| C-5 | CBD SAMPLE CONDITIONING ASSEMBLY | ROSEMONT | 1 | P.O. NO. 319800-313 |
| C-6 | CBD CONTROLLER | ROSEMONT MODEL HAGAN 200 <i>Presión de suministro</i> | 1 | P.O. NO. 319800-313 |
| D-1 | SOOTBLOWER | DIAMOND 6PB FIXED, ROTATING SOOTBLOWER COMPLETE W/MANUALLY OPERATED GEAR DRIVE, LANCED FOR FM103-00. FURANCE PRESSURE: 18" WC, SUPERHEATED STEAM @ 650 PSIG AND 788°F | 1 SET (1 REAR 1 FRONT) | 31-0010 |
| E-1 | BOILER OUTLET EXP. JOINT | B&W-ST FABRICATION | 1 | |
| E-2 | ECONOMIZER INLET TRANSITION | E-TECH | 1 | P.O. NO. 319800-330 |
| E-3 | ECONOMIZER SUPPORT STEEL | E-TECH | 1 | P.O. NO. 319800-330 |

"**" Denotes "ship loose" for field mounting by Purchaser.
 "R" Denotes items requisitioned by Engineering
 "NPT" Denotes Nominal Pipe Threaded Connections
 "SW" Denotes Socket Weld Connection
 "BW" Denotes Butt Weld Connection
 Note 1: Updated For Shipping Purpose

CUSTOMER: SUDAMERICANA
EQUIPMENT: FH117-08-LN

B&W JOB NO.: 201-3198
REVISION LEVEL: 2
REVISION DATE: 12/7/95

| NO. | ITEM | DESCRIPTION | UNIT QUAN | STOCK NUMBER |
|------|--------------------------------|---|-----------|---------------------|
| E-4 | ECONOMIZER | FINNED TUBE RECTANGULAR TYPE ECONOMIZER, BY E-TECH | 1 | P.O. NO. 319800-330 |
| E-5 | ECONOMIZER VENT | 3/4" VOGT NO. 12141, 800#, NPT | 1 | 02-0028 |
| E-6 | ECONOMIZER DRAIN | 3/4" VOGT NO. 12141, 800#, NPT | 1 | 02-0028 |
| E-7 | ECONOMIZER ISOLATION | 3" NEWCO FIG. 16FC83, 3"x600# RF FLG. | 2 | 02-1016 |
| E-8 | ECONOMIZER BYPASS | 3" NEWCO FIG. 26FC83, 3"x600# RF FLG. | 1 | 02-0327 |
| E-9 | DAMPER | AMERICAN POWER LOUVER TYPE | 1 | P319839-00 |
| E-10 | ECONOMIZER OUTLET TRANSITION | BY E-TECH | 1 | P.O. NO. 319800-330 |
| E-11 | STACK | 54" DIA. STACK BY E-TECH | 1 | P.O. NO. 319800-330 |
| E-12 | ECONOMIZER SAFETY RELIEF VALVE | KUNKLE MODEL 600 MGF, 1W" X 600# INLET, 1W"x150# OUTLET SET @ 800 PSIG | 1 | 60-3198-1 |
| E-13 | ECONOMIZER SOOTBLOWER | DIAMOND 6PB FIXED, ROTATING SOOTBLOWER WITH MANUALLY OPERATED GEAR DRIVE | 2 | P.O. NO. 319838-04 |
| P-1 | FEEDWATER PREHEATER | SHELL AND TUBE TYPE HEAT EXCHANGER (E-TECH) | 1 | P.O. NO. 319800-330 |
| P-2 | STRAINER | 6" SPIRAX SARCO F-250 CAST IRON, SS STRAINER WITH 0.045" PERFORATIONS, 250# FLANGED | 1 | 16-2033 |
| P-3 | TEMP. CONTROL VALVE | SPIRAX SARCO MODEL 6" 25T, 250 ANSI FLANGED, 260-320°F RANGE | 1 | 14-1210 |
| P-4 | THERMOSTAT BULB | T11 BULB WITH 8" CAPILLARY TUBING, 3/4" NPT UNION CONN. | 1 | 14-1211 |
| P-5 | STEAM TRAP | ARMSTRONG, 2" 016-TV-ADM, 2" NPT | 1 | 16-6089 |

"**" Denotes "ship loose" for field mounting by Purchaser.
 "R" Denotes items requisitioned by Engineering
 "NPT" Denotes Nominal Pipe Threaded Connections
 "SW" Denotes Socket Weld Connection
 "BW" Denotes Butt Weld Connection
 Note 1: Updated For Shipping Purpose

ANEXO 5

ALCANCE DEL SUMINISTRO DE LA TURBINA

1. TECHNICAL DATA

ABR backpressure, multistage steam turbine type "GE20" with extraction.

Project according to DIN.

1.1- Operating Condition

| | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-----|
| Load Point | 1 | 2 | |
| Output at alternator terminals | 5300 | 4000 | kW |
| Inlet steam (at turbine flange) | | | |
| Pressure | 45 | 45 | bar |
| Temperature | 420 | 420 | °C |
| Flow | 58.8 | 44.8 | t/h |
| Extraction steam | | | |
| Pressure | 15 | 15 | bar |
| Temperature | 290 | 290 | °C |
| Flow | 21.3 | 18 | t/h |
| Exhaust steam | | | |
| Pressure | 5 | 5 | bar |
| Temperature | 191 | 196 | °C |
| Flow | 87.5 | 28.8 | t/h |
| Speed | | | |
| Turbine | 13000 | 13000 | rpm |
| Alternator | 1800 | 1800 | rpm |
| Efficiency (approx.) | | | |
| Alternator | 97 | 96,6 | % |
| Gearbox | 98 | 98 | % |

1.2 Design Parameters

| | | |
|------------------------------|-----|-----|
| Pressure at turbine inlet | 45 | bar |
| Temperature at turbine inlet | 420 | °C |

df

2-SCOPE OF SUPPLY

2.1-Basic Turbine

Multi-stage back pressure reaction turbine type GE20, incorporating a thermoelastic guide blade carrier, a one-piece forged bending resistant rotor and a horizontally split casing.

2.1.1-Inlet Steam

- 01 automatic steam control valves with 01 servo-motor for live steam control valves;
- 01 live-steam emergency trip valve, medium operated, with built-in steam strainer.

2.1.2-Extraction Steam

- 02 automatic steam control valve with 01 servo-motor for extraction steam control;
- 01 extraction emergency trip non-return valve, medium operated.

2.1.3-Control equipment

- 01 hydraulic speed governor NEMA class D;
- 01 extraction pressure control;
- 01 back pressure control.

2.1.4-Safety devices

- High white metal temperature for bearings (electronic);
- Overspeed (mechanical/hydraulic);
- Lube oil pressure very low (electric);
- Manual trip at the turbine;
- High exhaust steam pressure (electric);
- Inadmissible radial vibration, electronic (Optional Item);
- Inadmissible axial displacement of the turbine shaft, electronic (Optional Item);
- Remote trip (electric via solenoid valve). This trip device can also be operated by other signals.

df

3-STREAM TURBINE AND GEARBOX TECHNICAL DESCRIPTION

3.1-Back pressure Extraction Turbine Type GE20

- Multi-stage reaction turbine;
- Casing horizontally split;
- Symmetrical construction in order to exclude differential expansion;
- Rotor forged in a single piece and stress-relieved after turning;
- Guide-blades carrier thermoelastically supported and in contact on all sides with the working medium, hence simultaneous temperature changes of rotor and guide-blade carrier and thereby constant radial clearances with negligible danger of rubbing;
- Guide-blade carrier design compensating almost completely for asymmetrical casing expansion and enabling a simple and smooth turbine casing construction;
- Easy accessibility and dismantling;
- Control wheel with strong impulse blading with shrouding and rolled-in damping wire, blade fixing with hammer-head, fir-tree, or finger-type roots;
- Reacting blading made of stream-lined blade profiles with a high moment of resistance;
- Rotating blades with vibration damping shrouding members and hammer-head or fir-tree roots, milled from the solid;
- Guide blades made of drawn profile material with riveted shrouding;
- Shroud labyrinth seals on the reaction blade-rows;
- Balance piston with replaceable labyrinth bush produces self-acting axial thrust compensation;
- Shaft labyrinths with replaceable inserts and leak steam discharge;
- Journal bearings forced-feed lubricated, for safe rotor guidance.

3.2-Gearbox

- Bi-helicoidal gear with cemented teeth;
- Casing made of casting iron. Gears made of cemented steel;
- Sleeve bearings covered with white metal;
- Forced feed lubrication for bearings and gears.

4-GENERATOR TECHNICAL DESCRIPTION

4.1-Synchronous Generator with Brushless Exciter

Asea Brown Boveri, 04 poles generator, type WG WGB 710 EB4 with brushless exciter, and separated cooling system mounted at generator bottom.

4.1.1-Mechanical Description

The frame is a rigid steel-plate welded box fabrication, with flat steel plate end-shields. The frame design allows the addition of air ducts, water coolers, weather protection or other attachments to the air entry or discharge openings without modification of the basic generator design. The active part of the stator is a slide-in assembly with an easily detachable torque connection to the frame. It can be changed at any time by a customer provided with the necessary lifting tackle.

The rotor comprises a solid shaft with solid shrunk-on plates. The pole shoes (also solid) are held to the rotor by socket screws.

Brushless excitation for standard designs is provided by a built in three-phase exciter and rotating rectifier bridge.

Advantages of the built-in exciter are as follows:

- Compact machine dimensions;
- Easier installation;
- No problems of coupling up the generator to a separate excitation source;
- . No shaft bushings;
- . Accessible machine bearings.

Since the exciter has the same enclosure as the generator, the former does not require additional mechanical protection and cooling arrangements.

The exciter and rectifier bridge being designed according to the excitation circuit is reduced to a minimum. Also the diodes remain conveniently accessible.

The method, the composition of the impregnating resin and a method of fixing the coil ends so that the assembly can be impregnated as one body, give the winding properties that could not be attained with the conventional methods used up till now.

The insulation does not age and it is insensitive to humidity, aggressive vapor and radio-activity. With this insulation, a stator winding can be withstand re switching at 100% residual voltage, regardless of phase angle. The insulation complies with the requirements of class F (maximum temperature rise 110 degrees Celsius measured at the hottest point, for a maximum coolant temperature of 40 degrees Celsius).

An underwater test can be carried-out with MICADUR-COMPACT insulation but this requirement should be specified at the time of ordering since the connections will require special treatment, also dielectric measurements, a voltage test and measurement of insulation resistance are necessary.

The rotor winding consists of single-layer pole windings of flat copper bar standing on edge and protruding cooling coils.

The insulation between the pole core and windings is very thin, which, together with the fact that the fully-wound rotor is impregnated under vacuum, assists heat loss dissipation from the pole windings to the core. The pole coils of the generator are made from wire with a special cross-section, with electrically inactive cooling tabs inserted between them. The coils are separately impregnated and held against the pole pieces with wedges.

4.1.6-Terminal and Cable Entries

The stator terminals are normally on the bottom of the machine and the rotor terminals are normally on the right-hand side viewed from the shaft end.

However, stator terminals can be fitted on right or left-hand side, as well rotor terminal can be fitted on left-hand side without extra charge if specified in the order. Any subsequent modification of the terminals positions on a fully-assembled machine is a complicated and expensive matter.

df

4.1.7-Data Sheet of 04 Poles Generators

| | |
|---|----------------|
| Manufacturer | ABB-BR |
| Standard | NEMA/IEC |
| Type | WG WGB 710 EB4 |
| Driven equipment | Steam Turbine |
| Rated Frequency | 60 Hz |
| Nominal Output at p.f. = 0.80 | 6.625 kVA |
| Insulation material class | F |
| Rated Terminal Voltage | 10.500 V |
| Voltage Range | +/- 5% |
| Rated Current | 364 A |
| Rated Power Factor | 0.80 |
| Stator Winding Connections | WYE |
| Nominal speed | 1.800 rpm |
| Enclosure | IP-23 |
| Cooling Method | IC-01 |
| Mounting Arrangement | IM-1001 |
| Runaway Speed | 2160 RPM |
| Ambient Temperature | 40 C |
| Temperature Rise | 80 C |
| Generator Efficiency at full Load (p.f. 0.80) | 97.1% |
| | 3/4 Load 96.5% |
| | 1/2 Load 96.4% |

(Eff. values guaranteed according to I.E.C. standard)

df

1-GENERATOR CONTROL, EXCITATION AND PROTECTION PANEL

Quantity 01
 Installation INDOOR
 Protection class IEC IP-31
 Dimensions 1600X2300X800mm (WxHxD)

The panel contains completely mounted and wired the equipments described below.

Measurement and control section:

01 digital power meter, 3300 ACM type (Manuf. Power Measurement Ltd.) with the followings parameters:

- .Va, Vb, Vc, Vaverage;
- .Vab, Vbc, Vca, Vaverage;
- .Ia, Ib, Ic, Iaverage;
- .MW total;
- .MVAR total;
- .PF total;
- .F;
- .kWh export;

- 01 DC field current digital indicator, scale 0-10Adc auxiliary voltage 125 Vdc (Manuf. H.B. or similar);
- 01 DC field voltage digital indicator, scale 0-100Vdc auxiliary voltage 125 Vdc (Manuf. H.B. or similar);
- 03 digital thermometer indicator, scale 0-392 Fahrenheit degrees, connected to RTD PT 100 ohm, C, with 2 auxiliary contacts, 1 for alarm and 1 for trip, auxiliary voltage 125Vdc, (Manuf. H.B. or similar).
(The digital thermometers are: 1 for generator stator windings and 2 for generator driving bearings);
- 10 auxiliary relays, coil 125Vdc, auxiliary contacts 6NO+2NC type CA2dn (Manuf. Telemecanique or similar);
- 01 automatic synchronizer and check of synchronism, type RES 010 (Manuf. ABB);
- 05 molded case circuit breaker three-poles with thermomagnetic relay, 10A 440Vca, auxiliary contact 1NO+1NC (Manuf. Siemens or similar);
- 01 synchronselect switch, with engraved name plate "P-M-O A-AE" with spring return P through M and AE through A handle G 211 draw able from "0" position type C18 BR4648 E (Manuf. Kraus-Naimer or similar);
- 02 control switch with 4 signaling lamps, 4 positions handle G001 type 018 ad 7099 EL (Manuf. Kraus-Naimer or similar);

df

- 01 emergency stop push bottom, auxiliary contacts 4NO, with mechanical lock. The button will be unlocked by a kirk key type 4A-702Y.04 (Blindex or similar);
- 02 control switch with spring return "RAISE trough O LOWER" through "engraved nameplate "RAISE-O-LOWER" HANDLE G 001 type C18A216 600E (Manuf. Kraus-Naimer or similar);
- 01 control switch for utility or turbine frequency control, engraved nameplate "0-1" handle G001 TYPE C18 A291-600E (Manuf. Kraus-Naimer or similar);
- 01 voltage variator, V1=220V, V2=0-240V, 10A, 2400VA, 60Hz, type M-2410 (Manuf. Auje or similar). The voltage variator, shall have 1NC contact when the dial is in "0" position.

Protection, Excitation and Alarm section:

- 01 set of electronic alarm, 32 points, with 1 led each point, voltage 24Vdc, nameplate engraved, with horn push button for knowledge, off horn and lamp test type ME3012 (Manuf. Helmut Mauell or similar);
- 01 supply 125/24Vdc, 5A (if necessary);
- 10 auxiliary relays, coil 125 Vdc, auxiliary contacts 6NO+2NC type CA2dn (Manuf. Telemecanique or similar);
- 25 diode, 1A, 1200Vrms (Semikron or similar).

Excitation:

- 01 automatic Voltage Regulator (AVR) ABB Manufacturer with the following functions:
 - .remote control of reference
 - .reactive droop
 - .frequency droop
 - .V/f limiter
 - .rotor load limiter
 - .rotor current minimum limiter
 - .AVR controlled current comound circuit
 - .exciter field current control
 - .monitoring of internal (AVR) circuits and power system
- 01 manual Channel (ECR) WITH:
 - .variable auto transformer (variac) 220-0/220Vac, 600VA
 - .isolation transformer 220-150, with shield between HV and LV, 600 VA;
 - .rectifier bridge, 400V, 10A;
 - .isolation transformer 220-150V, with shield between HV and LV, 600VA;
- 01 shunt 10A, 60mV accuracy class 0,5 (Manuf. Hartmann-Braun or similar);

df

- 01 selector switch, engraved nameplate "TEST-OPERATE" handle G001 type c10a 370bra119E (Manuf. Kraus-Naimer or similar);
- 01 rectifier bridge for compounding excitation 28A, 1200V, type SKB/12 (Manuf. Semikron or similar);
- 01 selector switch, engraved nameplate "AUTOM. MANUAL" handle G001 type C26 A370 BRA063 600e (Manuf. Kraus-Naimer or similar);
- 01 set of static protective relays, ABB Manufacturer, composed of:
 - .01 microprocessor based distribution protection unit-200 type DPU-2000 with the followings protective functions:
 - .overcurrent (ANSI 3X50/51+50/51N);
 - .negative sequence (ANSI 46);
 - .directional overcurrent (ANSI 67) as function (ANSI 32);
 - .under frequency (ANSI 81);
 - .under voltage (ANSI 27);
 - .over voltage (ANSI 59);
 - 01 thermal relay (ANSI 49) TYPE spam 150C;
- 03 single phase high impedance differential relay (ANSI 87) type SPAE 010+ MXA;
- 01 loss of excitation (ANSI 40) TYPE SPAX-1G5;
- 02 electromechanical lock-out relay (ANSI 06), coil 125Vdc auxiliary contacts 6NO+4NC;
- 01 set of auxiliary necessities:
 - .heater;
 - .illumination;
 - .terminal blocks;
 - .shorting terminal blocks for current circuits;
 - .opening terminal blocks for voltage circuits;
 - .etc.

df

6-SURGE PROTECTION CUBICLE

| | |
|-------------------------|------------------------|
| Quantity | 01 |
| Installation | indoor |
| Protection degree (IEC) | IP-31 |
| Voltage class | 5kV |
| Operating voltage | 10.5kV - 60Hz |
| Voltage withstand | 20kV - 60Hz, 1min |
| Bil | 60kV |
| Dimensions | 1042x2264x1842 (WxHxD) |

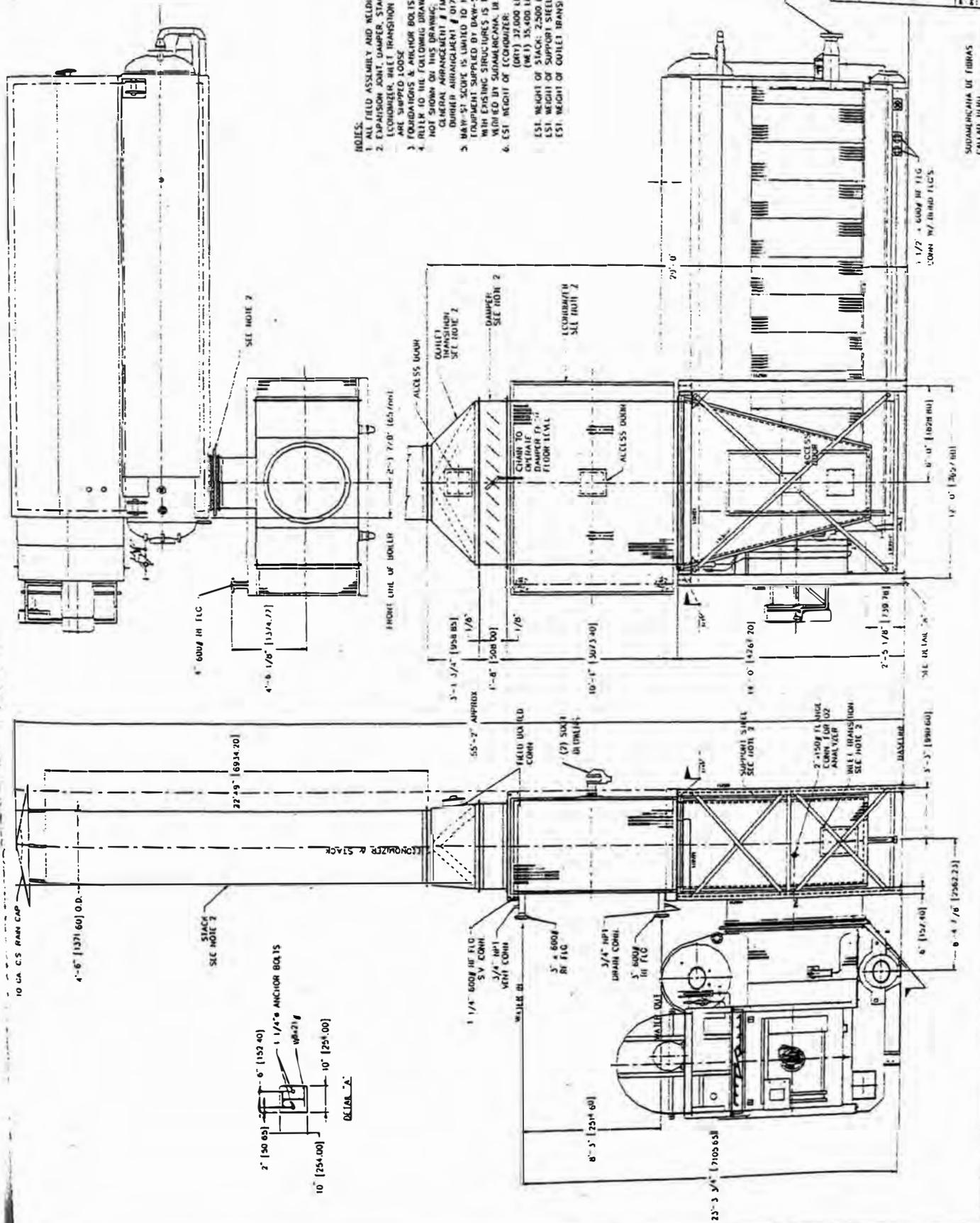
Containing:

- 03 lighting arrester, zinc oxide element (ZnO), UN=5kV, Idisch=10kA type EXLIM Q04 AV004 (Manuf. ABB or similar);
- 03 capacitor, 8kV class, 0.5 micro farad (Manuf. Inepar or similar);
- 03 single-phase potential transformers fixed mounting, for metering, protection and excitation regulation, with two cores .../sqr3-120/sqr3-120sqr3V, 60Hz, accuracy class 0.6WXY2- 0.6WXY2 molded resin type, rated thermal power 400VA per core, insulating level 20/60kV insulating class 7,2kV (Manuf. Balteau or similar);
- 03 HV fuses (with support) 1A, insulating class 5kV with pin strick for remote alarm (Manuf. Inepar or similar);
- 01 single-phase potential transformer fixed mounting for AVR power supply, .../220V, 60Hz, rated thermal power 1500VA, insulating level 20/60kV insulating class 7.2kV dry type with shielding between primary and secondary coil;
- 05 molded case circuit breaker three-poles with thermomagnetic relay, 10A ~~40Vca~~, auxiliary contact 1NO+1NC (Manuf. Siemens or similar);
- 05 molded case circuit breaker three-poles with thermomagnetic relay, 16A ~~40Vca~~, auxiliary contact 1NO+1NC (Manuf. Siemens or similar);
- 01 set of auxiliary necessities:
 - .heater;
 - .illumination;
 - .terminal blocks;
 - .etc.

df

ANEXO 6

DIMENSIONES DE LA CALDERA NUEVA Y SUS EQUIPOS AUXILIARES



- NOTES:**
1. ALL FIELD ASSEMBLY AND WELDING BY OTHERS.
 2. EXPANSION JOINT DAMPER STACK, OUTLET TRANSITION, ECOMIZER SHEET TRANSITION & SUPPORT STEEL ARE SHIPPED LOOSE.
 3. FOUNDATIONS & ANCHOR BOLTS BY OTHERS.
 4. REFER TO THE FOLLOWING DRAWINGS FOR DIMENSIONS NOT SHOWN ON THIS DRAWING: GENERAL ARRANGEMENT # FM117-5002E, DUMPER ARRANGEMENT # 0170-001.
 5. BAW-ST. SCORE IS LIMITED TO THE LAYOUT OF THE EQUIPMENT SUPPLIED BY BAW-ST. ANY INTERFERENCES WITH EXISTING STRUCTURES IS TO BE CHECKED AND NOTED BY SUPERVISOR. IN FABRICATION.
 6. EST. WEIGHT OF EQUIPMENT: 18,000 LBS [816 KG].

EST. WEIGHT OF STACK: 2,500 LBS [1,134 KG]
 EST. WEIGHT OF SUPPORT STEEL & SHEET TRANSITION: 2,000 LBS [907 KG]
 EST. WEIGHT OF OUTLET TRANSITION: 1,800 LBS [816 KG]

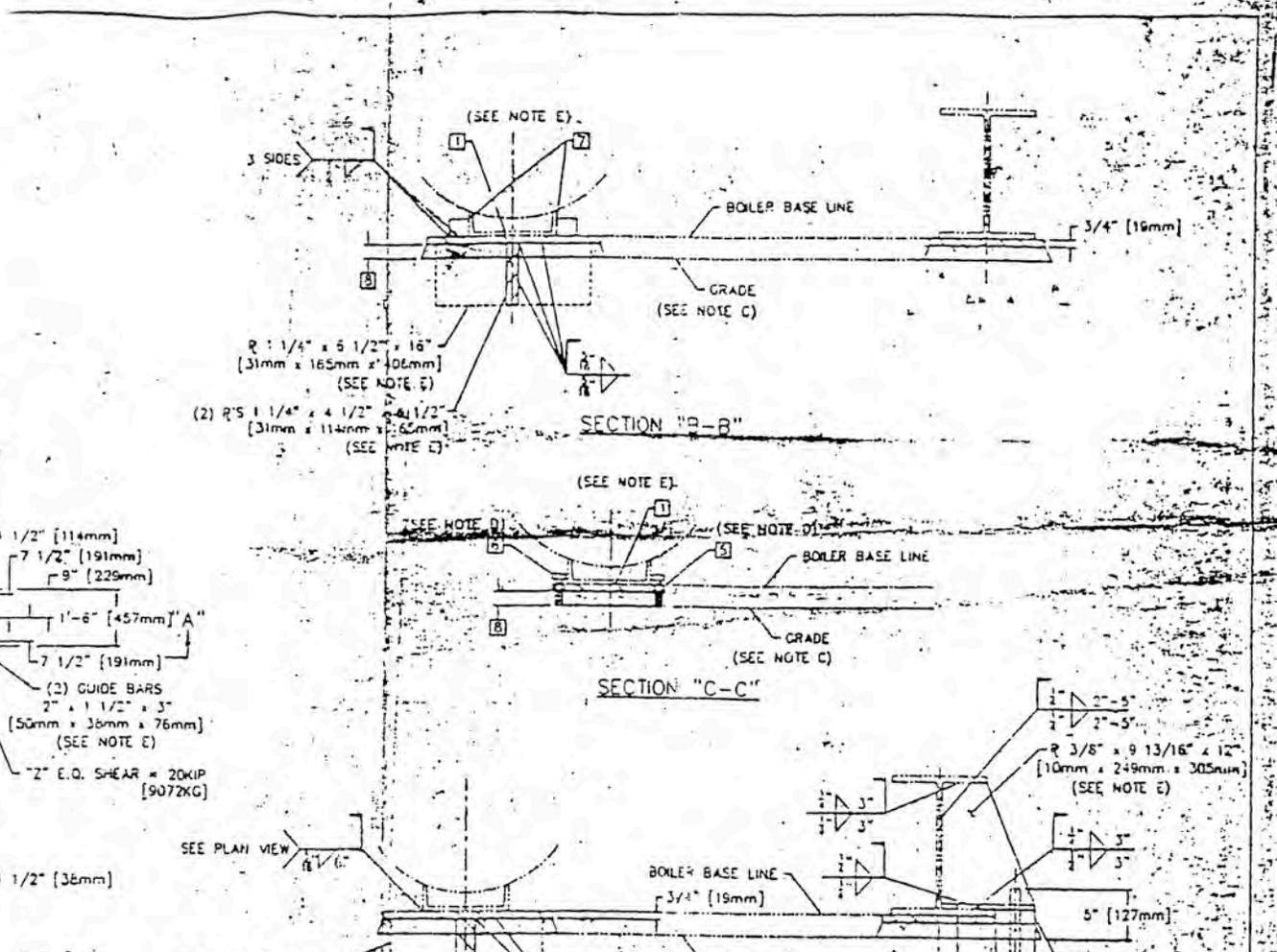
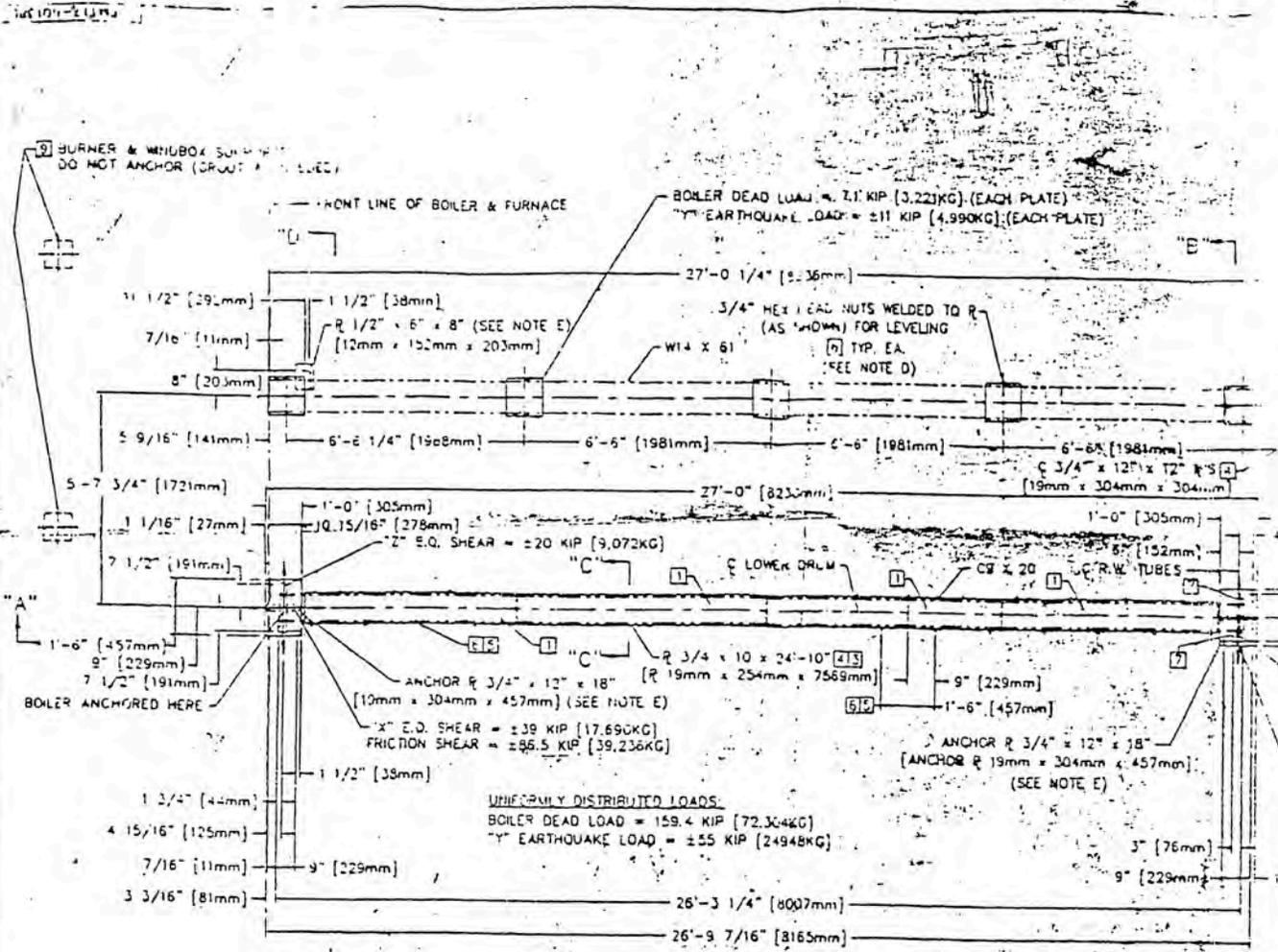
| | | | |
|-------------|----------|---------|--------|
| DESIGNED BY | COMPUTER | DATE | 1/7/78 |
| CHECKED BY | DATE | 1/10/78 | |
| APPROVED BY | DATE | 1/10/78 | |

BARCOCK & WILCOX - ST. CO.
 LITTLE ROCK, ARKANSAS

EQUIPMENT ARRANGEMENT
 FM117-5002E
 W/31 50 SUPPLEMENT

| | |
|-------------|--------|
| PROJECT NO. | 601560 |
| REV. | 1 |

SUPERVISOR OF FABRICATION
 CALVIN HARRIS
 BAW-ST. CONTRACT 7201-3188



NOTES:

- A. NOTICE TO PURCHASER - REFER TO CONTRACT FOR MATERIAL TO BE SUPPLIED BY THE BABCOCK AND WILCOX CO. MATERIAL SHOWN UPON THIS DRAWING NOT INCLUDED IN THE CONTRACT WILL NOT BE SUPPLIED WITHOUT SUPPLEMENTARY AGREEMENT.
- B. L.H. BOILER SHOWN.
- C. FOUNDATION NOT BY B&W CO.
- D. ANCHOR BOLTS AND NUTS NOT BY B&W CO. (SIZE BASED ON A307 STEEL)
- E. ANCHOR PLATES & GUIDE BARS NOT BY B&W CO. AFTER BOILER IS SET & ALIGNED, BOILER BASE CHANNEL IS TO BE WELDED TO THE ANCHOR PLATE AT FRONT OF BOILER AS SHOWN. GUIDE BARS ARE TO BE WELDED TO THE ANCHOR PLATE AT THE REAR OF BOILER AS INDICATED.
- F. DIMENSIONS IN PARENTHESIS INDICATE...
1. APPLY ANTI-SIEZE COMPOUND BETWEEN SLIDING SURFACES (NOT BY B&W CO.)
2. GAP TO REMAIN OPEN AND FREE OF GROUT AND CONCRETE.
3. THIS PLATE MAY BE COMPOSED OF MORE THAN ONE PLATE FOR EASE OF LEVELING. IF MORE THAN ONE PLATE IS USED, A 1" [25mm] GAP MUST BE MAINTAINED BETWEEN PLATE ENDS (NOTE #2). THE GAP BETWEEN PLATES MUST NOT BE CLOSER THAN 6" [152mm] FROM 1/2" [12mm] SPACES BETWEEN LOWER DRUM SUPPORT CHANNELS. (SEE SECTION "A-A")
4. THE FOLLOWING TOLERANCE MUST BE OBSERVED WHEN INSTALLING THIS PLATE: ±1/2" [12mm] FRONT TO REAR ±1/2" [12mm] SIDE TO SIDE
5. 1" [25mm] HEX NUT WELDED TO BASE PLATE ON 18" [457mm] CENTERS (FULL LENGTH).
6. 1/2" [12mm] HEX HEAD BOLT-TFL BOLTS TO BE REMOVED AFTER PLATE IS LEVELED AND GROUTED
7. ALLOW 1/8" [3mm] CLEARANCE BETWEEN GUIDE BARS AND CHANNEL
8. 1/2" [12mm] NON-SHRINK GROUT (MIN. TEMPERATURE RATING 450°F [232°C])
9. BURNER SUPPORTS NOT BY B&W CO. BURNERS NOT TO BE CANTILEVERED OFF OF WINDBOX

BABCOCK & WILCOX-SPCO
LITTLE ROCK, ARKANSAS

LOAD & SETTING PLAN
FM117-88 L.H. BOILER

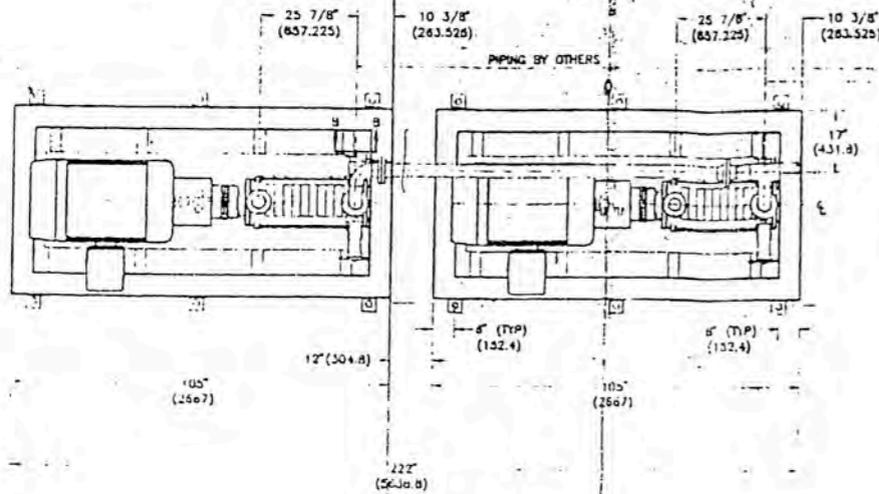
SUDAMERICANA DE FIBRAS
NESTOR GAMBETTA 6815
CALLAO, PERU
B&W-ST CONTRACT #201-3188

DATE: 1/19/88
DRAWN: [Signature]
CHECKED: [Signature]
SCALE: 1/4" = 1'-0"

FM117-601380-0

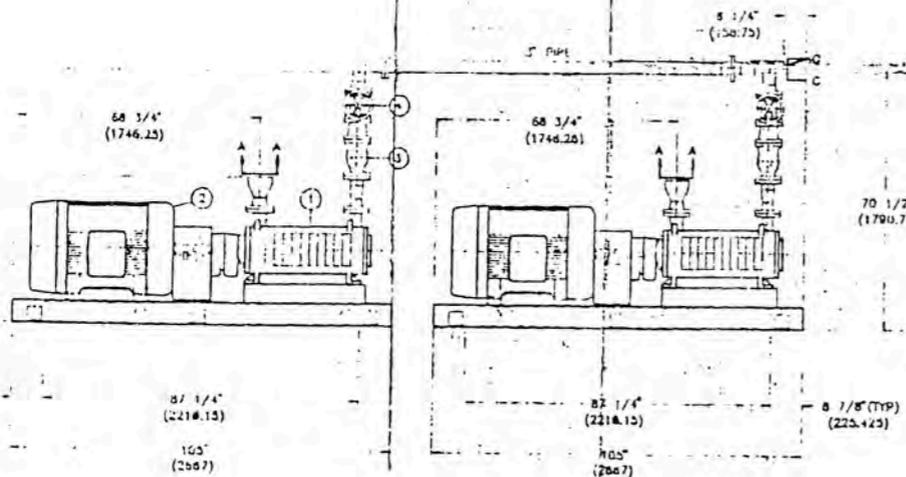
Ø = #.4750 (TYP)
(22.225)

57'
(1320.8)

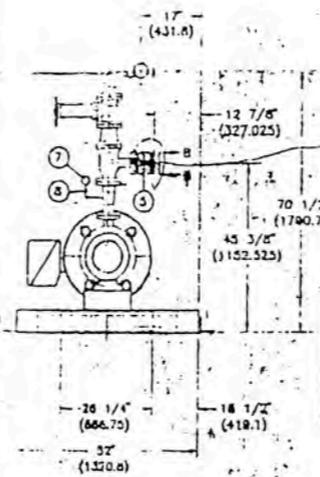


PLAN VIEW

39 7/8"
(1012.525)



ELEVATION VIEW



END VIEW

| NO. | QTY. | DESCRIPTION | SIZE | MANUFACTURER | MODEL |
|-----|------|--|--------|--------------|-------------|
| 1 | 2 | PHOSPHOR GAUGES COOK | 1/4" | FRACON | 10M073 |
| 2 | 2 | PRESSURE GAUGES 0-1000 PSIG (0-100 BARS) | 3 1/2" | ISHOROK | 100BAR |
| 3 | 2 | BACK PRESSURE REGULATOR | 2" | HBE | DMRN-12-060 |
| 4 | 2 | FLANGED GATE VALVES, 600 AHS | 2" | WALWORTH | W333E |
| 5 | 2 | FLANGED GATE VALVES, 600 AHS | 3" | WALWORTH | W333E |
| 6 | 2 | REGULATING VALVES, 600 AHS | 3" | HBE | DMRN-12-060 |
| 7 | 2 | WATER-SUPPLY VALVE, 3/4" 60HZ | 200HP | U.S. | T.E.F.C. |
| 8 | 2 | BOILER FEED PUMP (4 x 2.5 x 10) | | CARVER | WKM6SC-10 |

BILL OF MATERIAL

| BOILER FEED PUMP DATA SCHEDULE | | |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| WKM6SC-1 | NORMAL DUTY | MAXIMUM DUTY |
| FLOW, GPM | 220 | 270 |
| FLOW, M ³ /HR | 48.9 | 62 |
| TOT. FT. | 2127 | 2000 |
| TOT. M | 648 | 611 |
| HEAD, FT. | 10.2 | 11.5 |
| HEAD, M | 3.1 | 3.5 |
| HEAD, FT. | 13.5-18.5 | 13.5-23.5 |
| HEAD, M | 4.1-4.7 | 4.1-7 |
| WHP, GPM | 35 | 35 |
| WHP, M ³ /HR | 8 | 8 |
| SHUTOFF, FT. | 2410 | 2410 |
| SHUTOFF, M | 734.6 | 734.6 |
| SPEED, RPM | 3500 | 3500 |

| DIMENSIONS | |
|------------|-------------|
| IN. | INCHES |
| (MM) | MILLIMETERS |

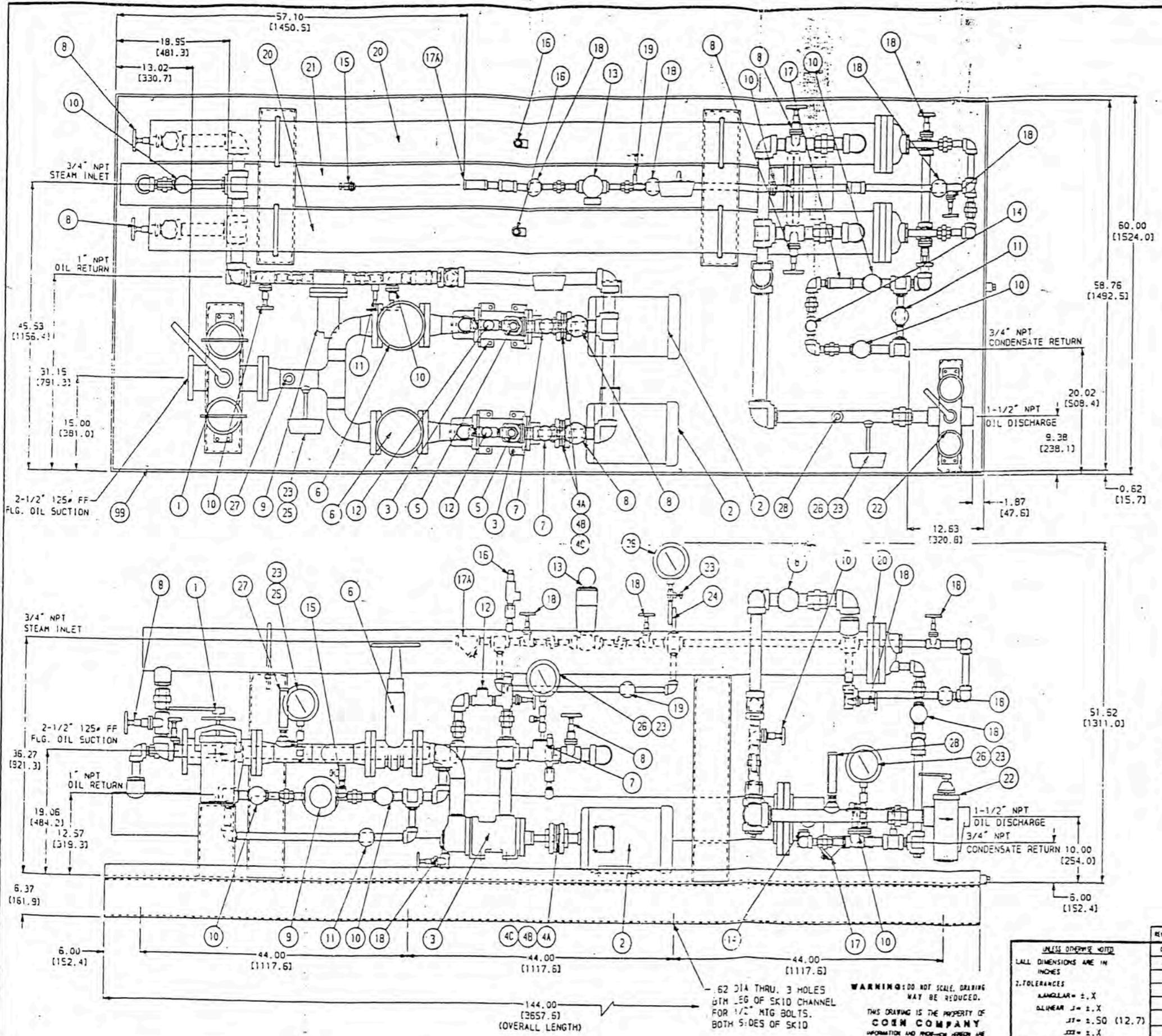
AA - 6" WELD END PUMP SECTION(S) FROM DEGENERATOR
 BB - 2" GATE VALVE FLANGED, PUMP UPSTREAM FLOW
 REGULATION RETURN TO DEGENERATOR
 CC - 4" WELD END SCHED 40 PUMP DISCHARGE TO BOILER

INDUSTRIAL STEAM INC.
 1000 OFFICE BLDG 1825 • OAKLAND, CALIFORNIA 94612 • AREA CODE 415-761-1111

PROJECT NAME: SUDAMERICANA DE FIBRAS
 PROJECT LOCATION: LIMA PERU
 SYSTEM MODEL: WKM6SC-10 BOILER FEED PUMP SKID

B&W-ST CONTRACT NO. 201-3198
 B&W-ST P.O. NO. 319800-302

SCALE: 1/2" = 1'-0"
 DRAWN BY: [Signature]
 APPROVED: [Signature]
 DATE: 7-25-95
 DRAWING NUMBER: GA-18082



NOTES:

1. FOR ITEMS IN BALLCONS SEE APPLICABLE BMJ.
2. FOR PAINTING REQUIREMENTS SEE BMJ MANUFACTURING SPECIFICATIONS.
3. PIPE SUPPORTS AS REQUIRED ARE NOT SHOWN FOR CLARITY.

CONDITIONS OF SERVICE

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| TYPE OF OIL: | #6/RESIDUAL SDD |
| OPERATING PRESSURE: | 200 PSIG |
| PUMP CAPACITY (EACH): | 23.8 GPM @ 1750 RPM @ 200 PSIG |
| SUCTION: | FLOODED |
| STEAM HEATER CAPACITY: | 17.4 GPM, FROM 120-240°F |
| ELECTRIC HEATER CAPACITY: | 5 GPM, FROM 120-240°F |
| STEAM SUPPLY: | 150 PSIG, SATURATED |
| STEAM CONSUMPTION: | 560#/HR |
| ELECTRIC SUPPLY: | 380 VOLTS - 3 PHASE - 60 HERTZ |

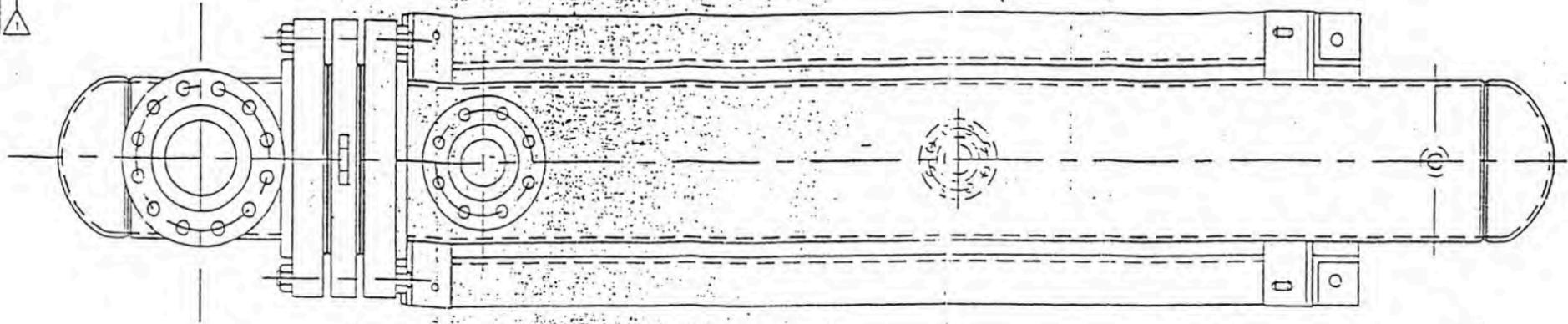
G02

UNLESS OTHERWISE NOTED
 ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES
 TOLERANCES
 ANGULAR ± .X
 LINEAR ± .X
 .125 ± .001 (12.7)
 .002 ± .X
 ALL SERVICE CONNECTION
 LOCATIONS = 2.75 (19.1)
 45° WELD ANGLE
 PROJECTION

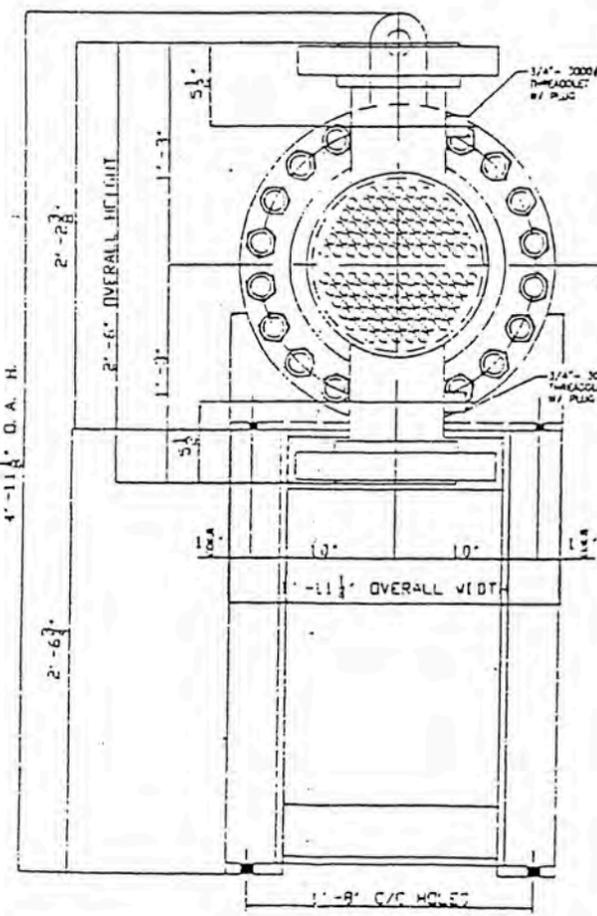
WARNING: DO NOT SCALE. DRAWING MAY BE REDUCED.
 THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF COEN COMPANY AND INFORMATION AND PROCEEDINGS HEREON ARE CONFIDENTIAL AND MAY NOT BE REPRODUCED OR REVEALED TO OTHERS WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF COEN COMPANY. ANY REPRODUCTION IN WHOLE OR IN PART SHALL INCURE THE PENALTY OF PERJURY.

| | | |
|---------------------------|----------------------------|--|
| REV BY: [initials] | DATE: AUG 95 | COEN COMBUSTION ENGINEERS WOODLAND DIVISION WOODLAND, CALIFORNIA |
| DRAWN BY: RU | CHECKED: [initials] | |
| APPROVED: [signature] | COEN FILE NO: 700X-12614-2 | ARRANGEMENT 17.4 HDD-200, PUMP & HEATER SUDEAMERICANA DE FIBRAS, LIMA, PERU |
| IDENTIFICATION: D 95-5197 | | SCALE: 1/8 95-5197-1 SHEET 1 OF 2 |

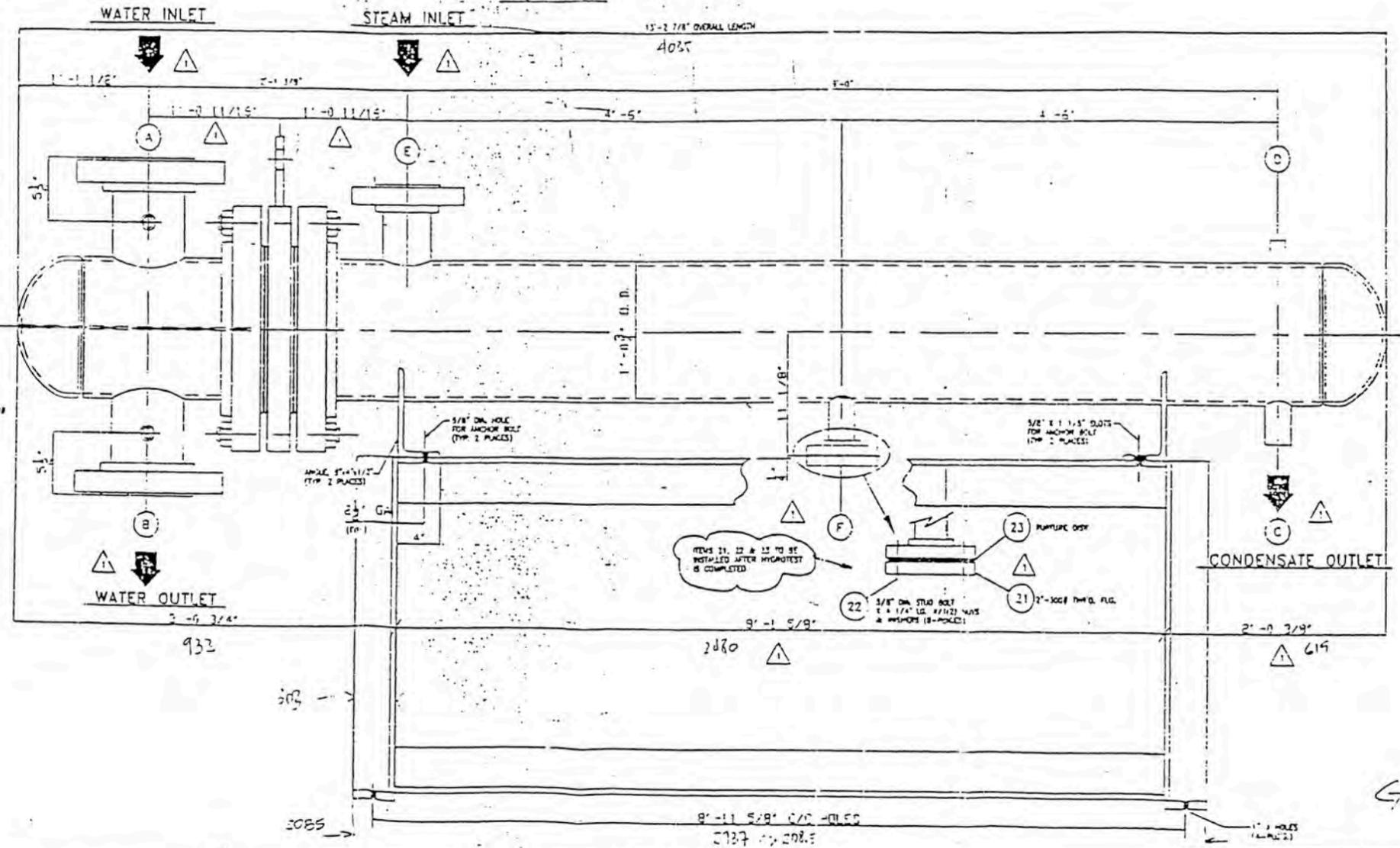
| SCHEDULE OF OPENINGS | | | | | |
|----------------------|--------------|------|--------|----------|---------------------------------------|
| UK | SERVICE | SIZE | RATING | TYPE | REMARKS |
| A | OUTLET | 4" | 600# | R.F.S.O. | OUTLET, SCH 80 BORE |
| B | INLET | 4" | 600# | R.F.S.O. | INLET, SCH 80 BORE |
| C | OUTLET | 2" | 3000# | COUPLING | STEAM OUTLET, THR'D. W/ HEX HEAD PLUG |
| D | VENT | 3/4" | 3000# | COUPLING | SHELL, THR'D. W/ HEX HEAD PLUG |
| E | INLET | 6" | 300# | R.F.S.O. | STEAM INLET, SCH 40 BORE |
| F | RIPTURE DISK | 2" | 300# | R.F.S.O. | 225 PSI ± 15 PSI / SCH 80 BORE |



PLAN VIEW



SIDE VIEW



ELEVATION VIEW

DESIGN NOTES:

- SHELL 17 3/4" O.D. x 88 1/2" W x SA-105-2 MAT.
- TUBE 1" x O.D. x 0.75" W x SA-105-2 MAT.
- EST. UNIT WEIGHT: 2302# GRY x 1.5% NET
- PAINT: (1) COAT SHOP PRIMER
- TOLERANCE: ± 1/8" UNLESS NOTED OTHERWISE
- NOTE (1): ALL FLC, BOLT HOLES TO STRADDLE CENTER LINES
- NOTE (2): 1/8" THK CASSET & STUD BOLTS W/ NUTS FURNISHED BY E-TECH
- NOTE (3): 1/16" TYP WELD CAP
- CORROSION ALLOWANCE: SHELL=0", TUBES=0"

DESIGN DATA:

- UNIT SERIAL NUMBER: 51527
- CODE STAMP ASME SECTION VIII, DIVISION 1 (1992 EDITION, 1995 ADDENDA)
- DESIGN PRESSURE TUBE SIDE: 600 PSIG @ 400° F
- DESIGN PRESSURE SHELL SIDE: 250 PSIG @ 400° F
- HYDRO TEST: 1350 PSIG (TUBE SIDE), 125 PSIG (SHELL SIDE)
- RADIOGRAPHY: NOT REQ'D
- POST WELD HEAT TREATMENT: NOT REQ'D
- NO. UNITS REQ'D: 1 AS SHOWN

| | |
|---|---|
| 6 | |
| 5 | |
| 4 | |
| 3 | |
| 2 | |
| 1 | 110/951 REV. NOZZLES & NOTES PER CUSTOMER |

E-TECH, INC.

P.O. Box 15258 Tulsa, Ok. 74117
918/665-1910

SHELL & TUBE ASSEMBLY W/ SUPPORT FRAME

DATE: 11/10/95

BY: CHU

CODE: 21.1

REV: 001/2141

QTY: 1

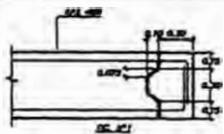
WTS: 2302#

NO: E-15278-1

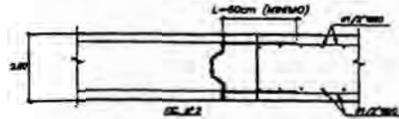
B. & W. P.O. NO. 319820-120
B. & W. CONTRACT NO. 201-1198
END USER: SUBAMERICANA, CALLO, PERU
TAG NO. = 1

ANEXO 7

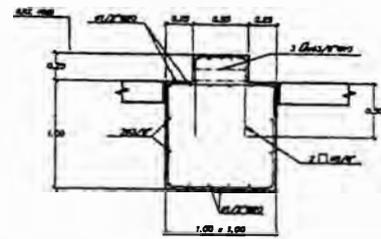
PLANO DE CIMENTACIONES



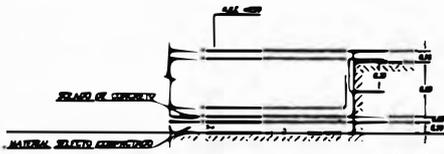
- 1.- PICAR LOSA EXISTENTE COMO SE INDICA EN FIGURA N 1
- 2.- LIGAR SUPERFICIE LIMPA, RUGOSA Y SANA.
- 3.- ENGROSAR ARMADURA EXISTENTE
- 4.- EMPALMAR ARMADURA NUEVA, LA LONGITUD DE EMPALME MINIMA SERA DE 60 cm.
- 5.- ANTES DE LLENAR CONCRETO NUEVO APLICAR RESINA EPOXICA



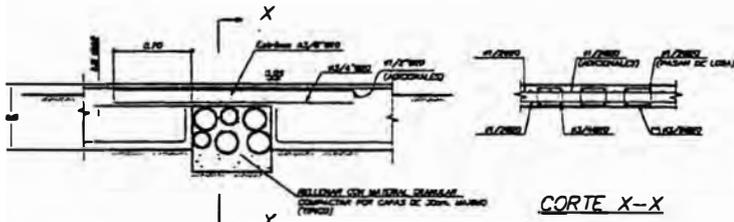
DETALLE DE EMPALME DE LOSA EXISTENTE CON LOSA NUEVA (1/25)



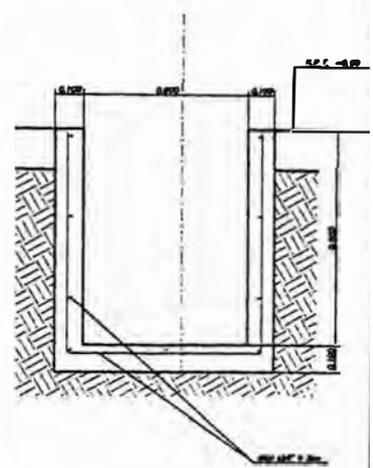
ELEVACION ZAPATA Z-1 (1/25)



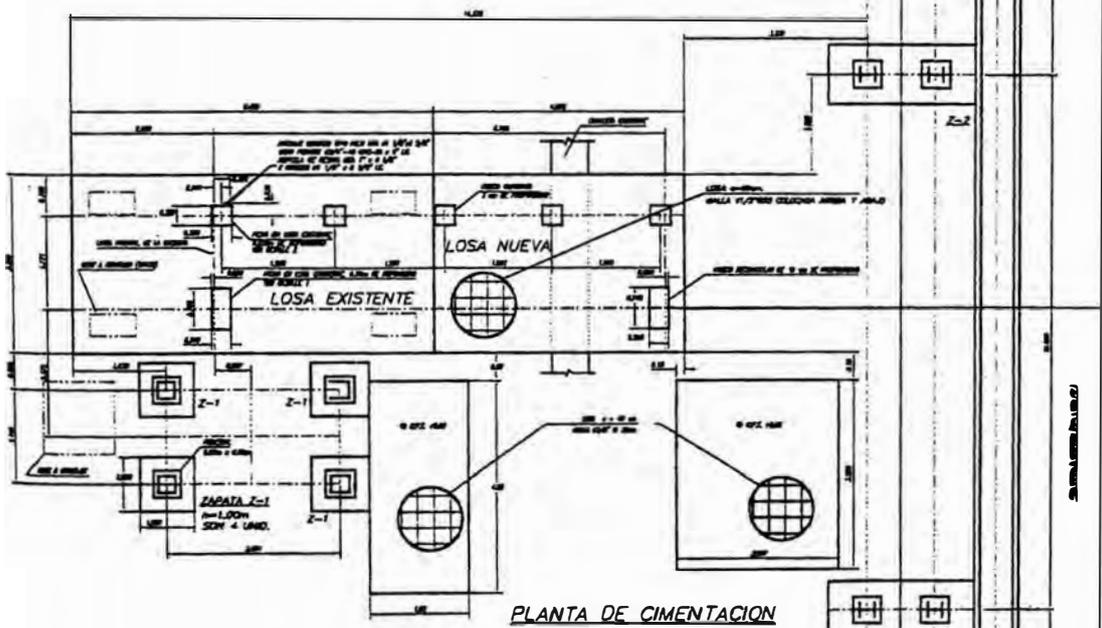
CORTE TIPICO DE LOSA (1/25)



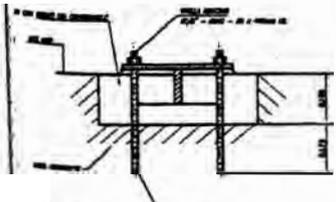
DETALLE DE PASO DE LOSA SOBRE CANALETA EXISTENTE



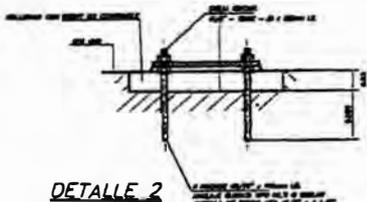
SECCION TRANSVERSAL DE LA CANALETA
ESCALA: 1/10



PLANTA DE CIMENTACION



DETALLE 1
DETALLES DE FIJACION DE PL EN LOSA EXISTENTE



DETALLE 2

OBSERVACIONES:
- El nivel de referencia N.P.T. +0.00 es el nivel de la losa existente.

| | | | |
|--------|--|------|---|
| Escala | | # | L |
| 3/8" | | 30cm | |
| 1/2" | | 40cm | |

TRASLAPES Y EMPALMES

| | | |
|------|------|------------------|
| # | L | R _{min} |
| 3/8" | 15cm | 2.0cm |

DETALLES TIPICOS DE ESTRIBOS

ESPECIFICACIONES GENERALES

CONCRETO
 EN RELAJOS: f_c = 18 kg/cm²
 RESISTENCIA MINIMA DE COMPRESION

EN LOSA Y ZAPATAS: f_c = 210 kg/cm²
 RESISTENCIA MINIMA DE COMPRESION

ACERO DE REFUERZO: f_y = 4200 kg/cm²

ACEROS DE ALAMBRE: # 10

TERMINO
 CAPACIDAD RESISTENTE: 4.5 kg/cm² (RESISTENCIA EN COMA)

CARLOS AUGUSTO SALAZO OVALLE Ingeniero CIVIL

SIDAMERICANA DE INGENIERIA

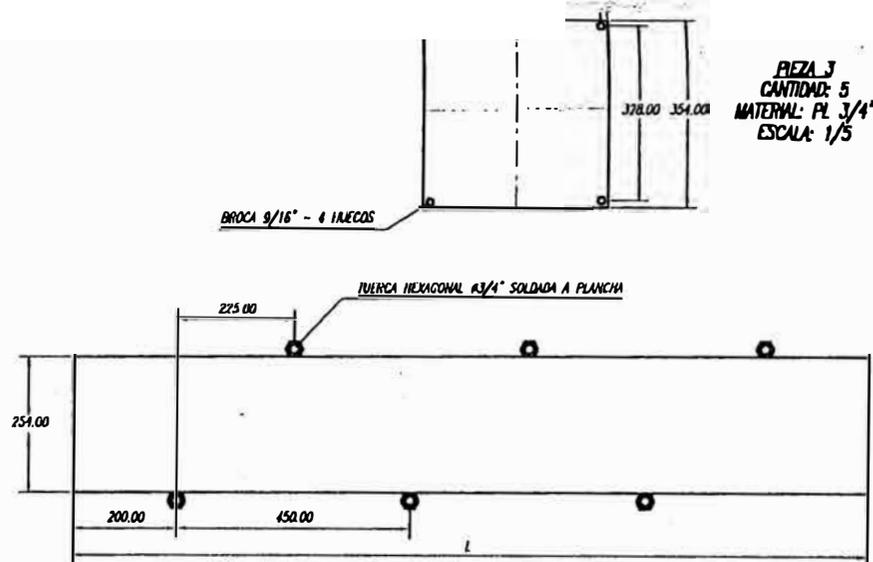
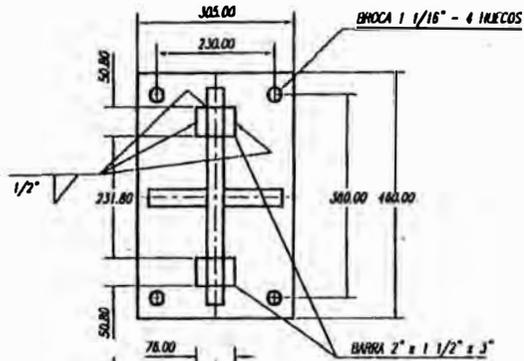
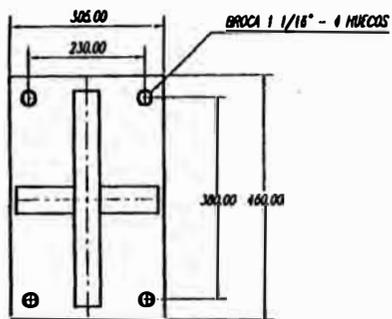
AMPLIACION

PLANTA DE CIMENTACION

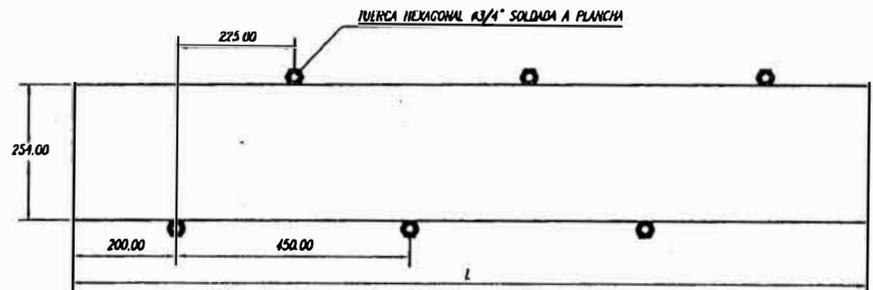
CASO N.º CASO N.º CASO N.º

NOV 95

REVISOR: 16/12/75
 DISEÑADOR: 6/1/76 PARA USAR EN PIEZAS EXISTENTES

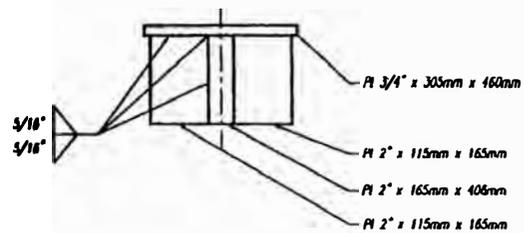


PIEZA 3
CANTIDAD: 5
MATERIAL: PL 3/4"
ESCALA: 1/5

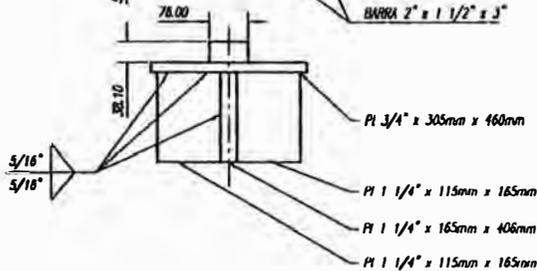


ESCALA: 1/5

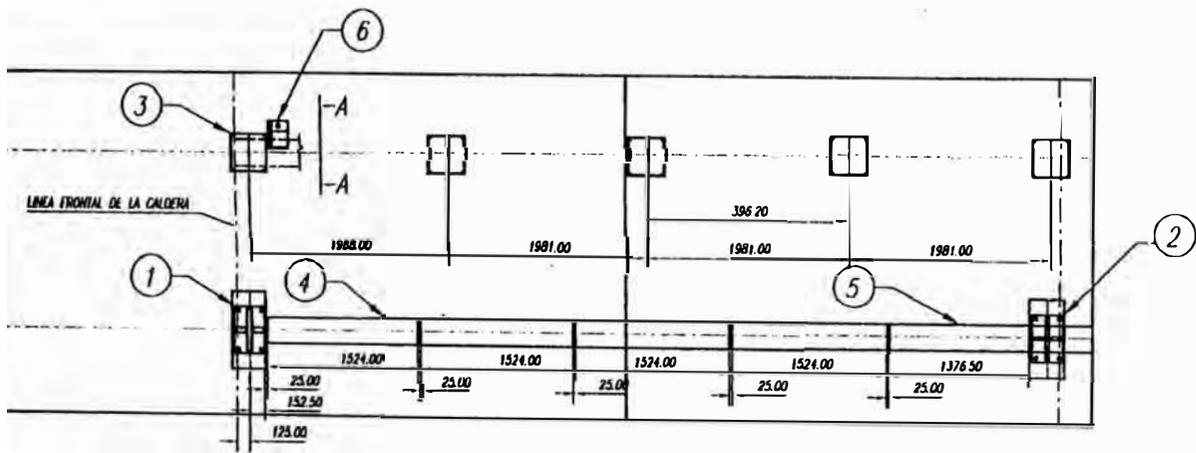
| PIEZA | L (mm) | CANTIDAD | MATERIAL |
|-------|---------|----------|----------|
| 4 | 1524.00 | 4 | PL 3/4" |
| 5 | 1376.50 | 1 | PL 3/4" |



PIEZA 1
CANTIDAD: 1
MATERIAL: INDICADO
ESCALA: 1/5

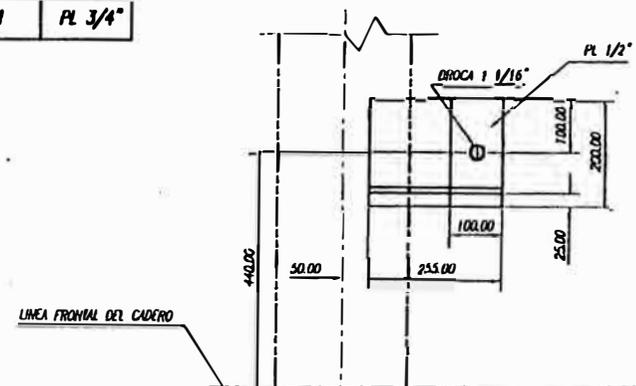


PIEZA 2
CANTIDAD: 1
MATERIAL: INDICADO
ESCALA: 1/5

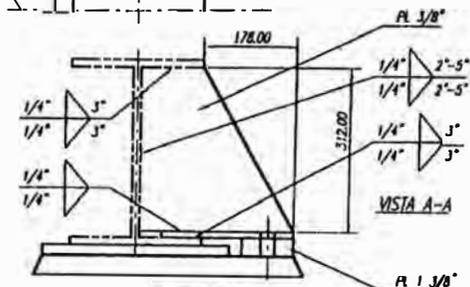


CONSTRUCCION DE CALDERA

ESCALA: 1/25



PIEZA 4 ANCLAJE HORNO
CANTIDAD: 1
MATERIAL: INDICADO
ESCALA: 1/5



REVISADO 16/12/05

| | | |
|------------|-----|--|
| PROYECTADO | 1/5 | GCZ SIDERURGICA DE FERRO PEZOS DE CONSTRUCCION DE CALDERA 1 |
| REVISADO | GCZ | |

PROCEDIMIENTO DE NIVELACION DE APOYOS DE LA CALDERA

- 1 Colocación de pernos de anclaje nivelación
 - 1.1 Perforar agujeros
 - 1.2 Eliminar el polvo
 - 1.3 Colocar la resina, según indicaciones del fabricante
 - 1.4 Colocar el perno según indicaciones del fabricante de la resina.
 - 1.5 Ensamblar la placa de apoyo en los respectivos pernos inmediatamente después de colocados estos en sus agujeros.
 - 1.6 Dejar que la resina fragüe.
 - 1.7 Realizar este procedimiento en todas las placas de apoyo.

- 2 Nivelación placa de anclaje de la caldera.
 - 2.1 Después de fraguada la resina epóxica que fija los pernos, nivelar la placa de anclaje de la caldera con un nivel de burbuja, a una altura de 38 mm de la plataforma de concreto, según indicación de BW-ST CO. (plano FM 117-60138D).
 - 2.2 Colocar y ajustar la contratuerca para dejar fija la placa de anclaje.

- 3 Colocación de las otras placas de apoyo y nivelación de la misma altura que la placa de anclaje.
 - 3.1 Nivelar todas las demás placas de apoyo con un nivel de burbuja y a la misma altura que la placa de anclaje; la altura de la placa se determinara con un nivel o con un teodolito, y su mira.

Una vez nivelada la placa, a la altura correcta colocar y ajustar las contratuercas.
 - 3.2 Después de niveladas y ajustadas las placas, vaciar el grout en las cavidades de la losa. El grout debe tener la característica de no contraerse al fraguar y debe soportar como mínimo una temperatura de 450° F (232°C)

ANEXO 8

CALCULO DEL ESPESOR DE TUBERIAS

CALCULO DEL ESPESOR DE TUBERIAS

A continuación se presenta la fórmula utilizada en el código ASME para el cálculo del espesor de tuberías de pared gruesa o delgada:

$$t_{rn} = PD / (2S + 2yP) + C \dots A..8.1$$

donde: t_{rn} = espesor mínimo de pared (pulg.), sin incluir ninguna tolerancia.

P = Presión interna de servicio máxima (psig), a la temperatura de operación del material, correspondiente al valor de esfuerzo admisible tomado de las tables 8 y 9. El valor de P en la fórmula no debe ser que menor a 100 psig en ningún caso.

D = Diámetro exterior de la tubería (pulg.)

S = Esfuerzo admisible a causa de la presión interna a la temperatura de operación del material (psig) (ver tabla 8).

C = Espesor adicional para roscado, esfuerzo mecánico y/o corrosión (pulg.) (tabla 11)

y = Coeficiente que depende del tipo de material a altas temperaturas (tabla 10)

Las tablas 8, 10 y 11 figuran en [3]

ANEXO 9

SELECCIÓN DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESION.

SELECCIÓN DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESION

DEFINICIONES

La capacidad de una válvula de control es cuantificada mediante un coeficiente que relaciona el caudal con la densidad y la pérdida de presión que se produce en el flujo al atravesar la válvula.

El primer coeficiente de dimensionamiento de válvulas que se utilizó en Estados Unidos fue el denominado Cv, que se define como: "Caudal en galones USA por minuto que pasa a través de la válvula en posición completamente abierta y con una pérdida de carga de una libra por pulgada cuadrada".

En los países que emplean unidades métricas se suele utilizar el coeficiente Kv, que la norma VDI/VE 2173 (Septiembre de 1962) define del siguiente modo: "Caudal de agua (de 5 a 30°C) en m³/h que pasa a través de la válvula a una apertura dada y con una pérdida de carga de 1 kg/cm²".

El coeficiente Kv, para la válvula totalmente abierta se denomina Kvs mientras que el mínimo valor recibe el nombre de Kvo. Por lo tanto, la relación Kvs / Kvo es la denominada "rangeability" o "campo de control", que expresa la relación de caudales que la válvula puede controlar. La equivalencia entre los coeficientes Kv y Cv para la válvula totalmente abierta es:

$$Kv = 0.86 Cv \text{ (m}^3/\text{h)} \\ Cv = 1.17 Kv \text{ (galones por minuto)}$$

FORMULA GENERAL

La válvula se comporta esencialmente como un orificio de paso variable que permite la circulación de un cierto caudal con una determinada pérdida de carga. La fórmula para determinar el coeficiente Kv o Cv se deduce aplicando el teorema de Bernoulli en los puntos de entrada y salida de la válvula, resolviéndola para la velocidad de salida, la cual combinándola con la definición dada en párrafos anteriores y con la fórmula del gasto a través del orificio permite obtener lo siguiente:

$$Kv = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \text{ (m}^3/\text{h)} \dots \text{ (A.9.1)} \quad *$$

donde: Q = caudal máximo, en m³/h
ρ = peso específico, en kg/dm³ o g/cm³
Δp = pérdida de carga, en kg/cm² para el caudal máximo

* Ver Capítulo 8, "Elementos fiales de control" [4]

VAPOR DE AGUA

En el caso de vapor de agua es conveniente utilizar en la ecuación (A.9.1) unidades de masa en lugar de unidades de volumen y, adicionalmente, se conoce que para el vapor sobrecalentado existe una relación aproximadamente lineal entre $\sqrt{\frac{P_s}{\rho_s}}$ y C, siendo C los grados centígrados de sobrecalentamiento del vapor:

$$\sqrt{\frac{P_s}{\rho_s}} = 44.33(1 + 0.0013 \cdot C) \dots \text{ (A.9A2)} \quad *$$

donde: P_s = Presión promedio entre la entrada y salida
ρ_s = peso específico a la presión promedio

Combinando la ecuación (A.9.1) con la relación entre caudal en masa y caudal en volumen y con la ecuación (A.9.2) se obtiene la ecuación:

$$Kv = w \frac{(1 + 0.0013 \cdot C)}{16 \sqrt{\Delta p (P_1 + P_2)}} \dots \text{ (A.9.3)} \quad *$$

donde: w = caudal en masa, (kg/h)
C = Sobrecalentamiento del vapor, (°C)
P₁ = Presión de entrada, kg/cm²

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE VALVULA Kv PARA LAS VALVULAS REDUCTORAS DE PRESION DE SUMINISTRO AL SISTEMA EXISTENTE, LA DE SUMINISTRO DE VAPOR PARA EL PRECALENTADOR DE COMBUSTIBLE Y LA DE ALIVIO DE PRESION PARA LA CALDERA.

El objetivo de estas válvulas es reducir la presión del vapor para adecuarlo al suministro respectivo.

En el caso de la válvula reductora para el sistema existente, su capacidad debe ser suficiente para suministrar la totalidad del vapor que requiere la fábrica actualmente, es decir 44,000kg/h, desde los 45BAR del nuevo cabezal de alta hasta los 30BAR requeridos.

En el caso de la válvula para el precalentador de combustible, la capacidad está especificada por el fabricante del sistema de bombas de combustible y el suministro se realizará desde el cabezal de 15BAR existente.

La válvula de seguridad del nuevo cabezal de alta debe tener una capacidad de 50,000kg/h desde los 45BAR hasta la atmósfera.

En la siguiente tabla (A.9.1) se resumen los parámetros y los cálculos para las válvulas mencionadas, haciendo uso de la ecuación (A.9.3)

Con las constantes obtenidas de este cálculo se puede seleccionar la válvula adecuada, según lo ofrecido por cada fabricante de válvulas.

TABLA A.9.1.- CALCULOS PARA LAS CONSTANTES DE VALVULA DE VALVULAS REDUCTORAS DE PRESION

| SISTEMA | ENTRADA | | | SALIDA | | CAPACIDAD w kg/h | TEMP. DE SATU- RACION °C | SOBRE- CALENTA- MIENTO C °C | CONSTANTE DE VALVULA | |
|--|----------|----------|----------|------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------|--------|
| | P1 (abs) | T1 °C | P2 (abs) | Kv m3/h | Cv gal/min | | | | | |
| | bar | | kg/cm2 | | | | | | bar | kg/cm2 |
| SUMINISTRO A SISTEMA EXISTENTE | 46.00 | 45.11 | 420.00 | 31.00 | 30.40 | 44,000.00 | 258.55 | 161.45 | 99.83 | 116.80 |
| SUMINISTRO A PRECALENTADOR DE COMBUSTIBLE | 16.00 | 15.69 | 230.00 | 11.00 | 10.79 | 255.00 | 201.30 | 28.70 | 1.45 | 1.70 |
| ALIVIO DEL CABEZAL DE ALTA | 46.00 | 45.11 | 420.00 | 1.00 | 0.98 | 50,000.00 | 258.55 | 161.45 | 83.83 | 98.09 |

ANEXO 10

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA VÁLVULA
ATEMPERADORA**

ESTIMACION DE LA CAPACIDAD DE LA VALVULA ATEMPERADORA

La función de esta válvula es controlar el ingreso de agua proveniente de la salida de las bombas de alimentación a 45bar y 100°C hacia la tubería de suministro del sistema existente a 30bar y 325°C, para enfriar el vapor que ha sido reducido desde los 45 bar , 420°C.

En este caso se tiene una situación especial por que el proceso en esta válvula será una vaporización (flashing). En estas circunstancias, se presenta una vaporización parcial o completa en alguna parte de la válvula, al existir en la salida una presión inferior a la tensión de vapor del liquido a la temperatura de derrame, siendo difícil precisar si el cálculo debe hacerse considerando el fluido como líquido o vapor, haciendo necesarias consideraciones adicionales a las fórmulas convencionales presentadas en el anexo N°11.

En el agua caliente, a una temperatura próxima a la de saturación, consideraciones termodinámicas indican que a la salida de la válvula existirá una mezcla de agua y vapor. Para determinar el coeficiente de la válvula se calcula empíricamente la pérdida de carga admisible y se compara con la real, utilizando en el cálculo la más pequeña de las dos.

Las consideraciones adicionales para el cálculo son las siguientes:

1. Si la temperatura de entrada es inferior en menos de 2.8°C a la temperatura de saturación del agua, es decir, si $\Delta T < 2.8^{\circ}\text{C}$ (5°F), la pérdida de carga admisible es: $\Delta P = 0.06 P_1$.
2. Cuando la temperatura de entrada es inferior en más de 2.8°C a la temperatura de saturación del agua, es decir, si $\Delta T > 2.8^{\circ}\text{C}$ (5°F), la pérdida de carga admisible es: $\Delta P = 0.9 (P_1 - P_s)$.

En estas fórmulas:

$\Delta T =$ diferencia entre la temperatura de saturación correspondiente a la presión de entrada P_1 y la temperatura de entrada en °C

$P_1 =$ presión de entrada en kg/cm^2 absolutos

$P_s =$ presión de saturación correspondiente a la temperatura de entrada en kg/cm^2 .

El procedimiento para el cálculo a seguir será el siguiente:

1. Estimación del caudal requerido, para lo cual consideraremos que el proceso en la válvula reductora es aproximadamente iso-entálpico de manera que la entalpía del flujo resultante es la misma que la del vapor a 45BAR y de manera similar para la válvula atemperadora, la entalpía del vapor resultante será la combinación de las entalpias del vapor caliente y del agua de enfriamiento.
2. Determinación de la caída presión de cálculo haciendo las comparaciones según lo explicado en el párrafo de consideraciones adicionales.
3. Determinación de la constante de válvula con la fórmula general A.11.1, presentada en el anexo N°11.

A continuación los cálculos:

1. Estimación del caudal requerido

Condición "0": Vapor a 45 bar

- Temperatura: 420°C
- Entalpía: 3,250.49 kJ/kg

Condición "1": Vapor a 30 bar

- Entalpía: $h_1 = 3,250.49 \text{ kJ/kg}$
- Temperatura: 409.39°C
- Caudal: $m_1 \text{ kg/s}$

Condición "2": Agua caliente 45 bar

- Temperatura: 100°C
- Entalpía: $h_2 = 419.04 \text{ kJ/kg}$
- Caudal: $m_2 \text{ kg/s}$

Condición "3": Vapor a 30 bar :

- Temperatura: 325°C
- Entalpía: $h_3 = 3051.67 \text{ kJ/kg}$

- Caudal: $m_3 = 50,000 \text{ kg/h}$
 $m_3 = 13.89 \text{ kg/s}$

Balance de energía:

$$m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2 = m_3 \cdot h_3 \quad \dots \quad (\text{A.12.1})$$

Balance de masa:

$$m_1 + m_2 = m_3 \quad \dots \quad (\text{A.12.2})$$

Despejando, reemplazando valores y resolviendo para m_2 :

$$m_2 = 1.0253 \text{ kg/s}$$

$$m_2 = 3691.13 \text{ kg/h}$$

Entonces el caudal a través de la válvula será:

$$Q = 3.691 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Determinación de la caída de presión para el cálculo

La temperatura del agua de enfriamiento en la entrada es inferior a la temperatura de saturación en 309.39°C , por lo tanto, la pérdida de carga admisible es:

$$\Delta P = 0.9 (P_1 - P_s)$$

$$\Delta P = 0.9 (46 - 1) = 40.5 \text{ BAR abs} = 39.71 \text{ kg/cm}^2$$

La pérdida de carga real es de $45 - 30 = 15 \text{ BAR} = 14.71 \text{ kg/cm}^2$

Luego, la pérdida de carga para el cálculo de la constante de la válvula debe ser la menor, es decir:

$$\Delta P = 14.71 \text{ kg/cm}^2$$

3. Determinación de la constante de válvula

Reemplazando valores en la ecuación A.11.1 (Ver anexo N°11):

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$K_v = 0.9621 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_v = 1.1256 \text{ gal/min}$$

Con el valor de K_v ó C_v hallados y con las condiciones de presión y temperatura, se selecciona la válvula de acuerdo a lo ofrecido por los fabricantes.

ANEXO 11

**CALCULO DE LOS REFUERZOS DE LAS DERIVACIONES DEL
CABEZAL DE ALTA**

CALCULO DE LOS REFUERZOS DE LAS DERIVACIONES DEL CABEZAL DE ALTA

Este cálculo se hace de acuerdo al procedimiento indicado por la norma ASME

La tabla siguiente presenta el resumen de los cálculos en concordancia con la hoja de cálculo sugerida por la norma ASME.

Las derivaciones a calcular son:

| Nº | SISTEMA | PRESION (bar) | TEMP. (°C) | DIAMETRO NOMINAL (plg) |
|----|------------------------------------|------------------|---------------|------------------------------|
| 1 | Llegada desde las turbinas | 45 | 420 | 8 |
| 2 | Suministro al sistema existente | 45 | 420 | 4 |
| 3 | Suministro a turbinas | 45 | 420 | 8 |
| 4 | Válvula de seguridad | 45 | 420 | 3 ½ |
| 5 | Venteo del cabezal | 45 | 420 | 2 |
| 6 | Manómetro | 45 | 420 | ½ |
| 7 | Purga del cabezal | 45 | 420 | 1 |
| 8 | Pre calentamiento de domo inferior | 45 | 420 | 1 ½ |

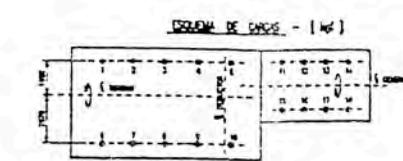
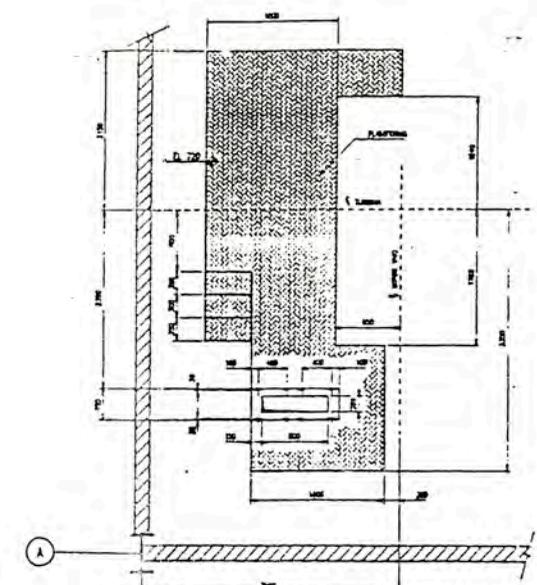
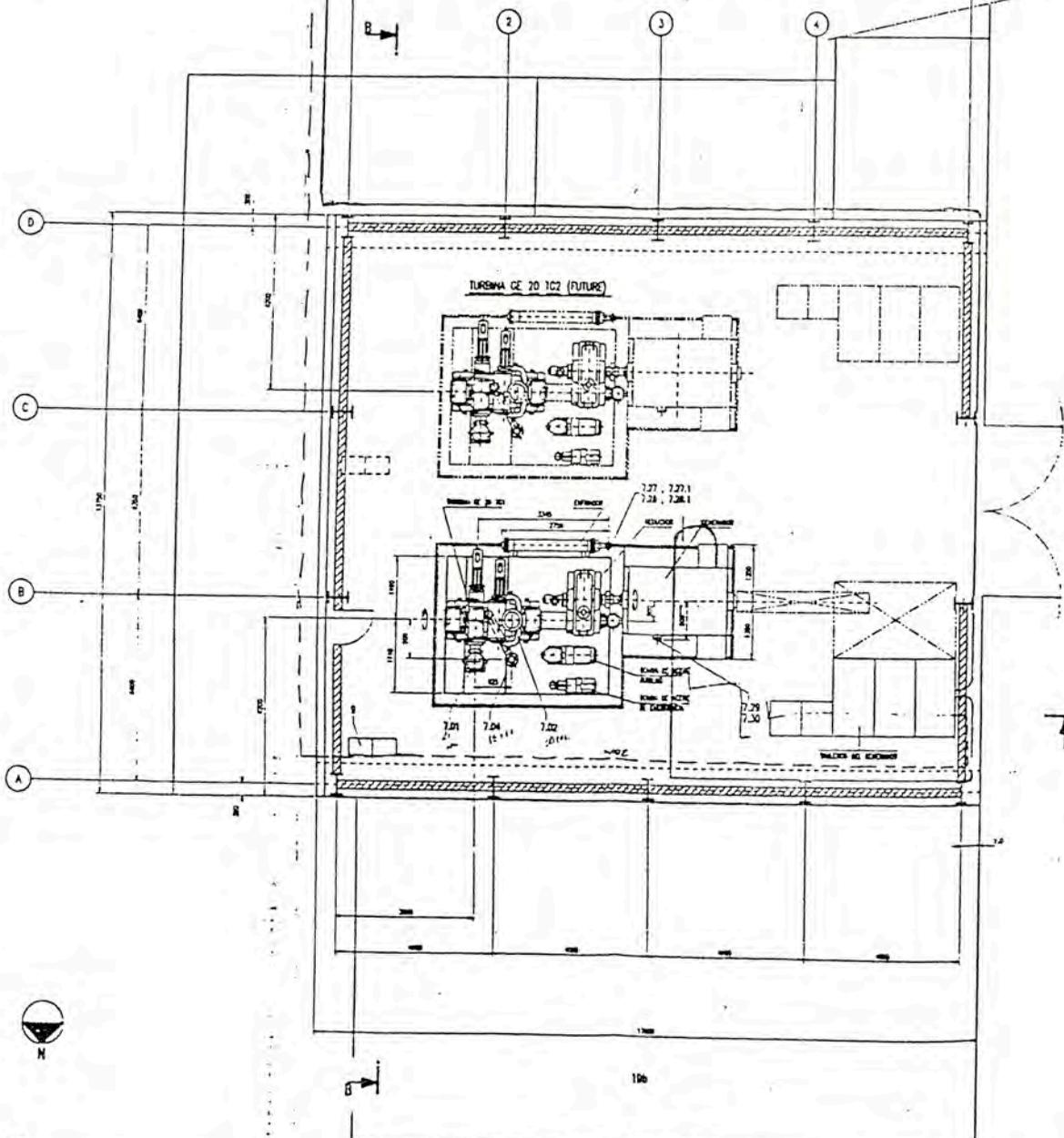
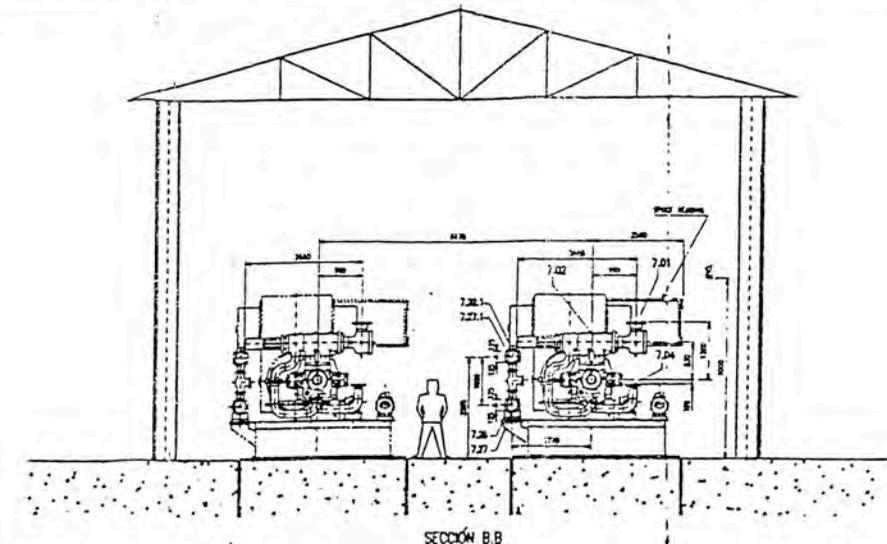
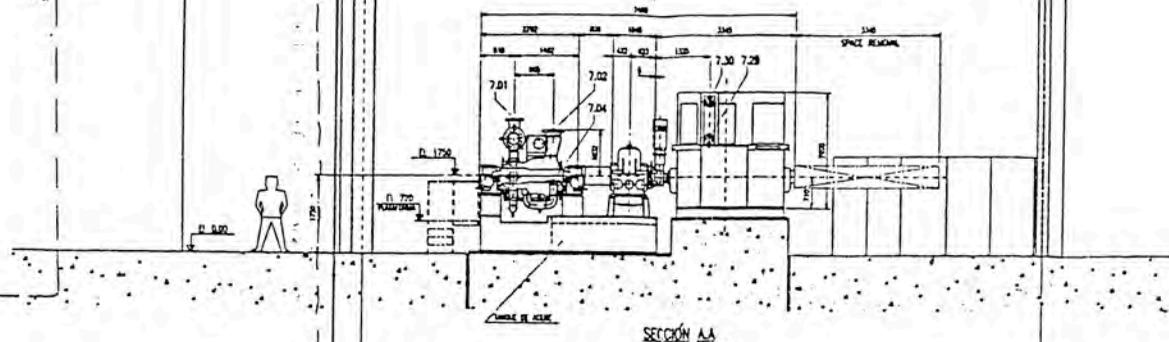
Tabla A.11.1.- Derivaciones del cabezal a calcular.

TABLA A.11.2.- RESUMEN DE CALCULOS DE REFUERZOS DE DERIVACIONES DEL CABEZAL DE ALTA

| Derivación N° (ver tabla A.11.1) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Diametro nominal (plg) | | 8 | 4 | 8 | 3 1/2 | 2 | 1/2 | 1 | 1 1/2 |
| Dimetro exterior (plg) | | 8.625 | 4.500 | 8.625 | 4.000 | 2.375 | 0.840 | 1.315 | 1.900 |
| P = presión, psi | | 676.200 | 676.200 | 676.200 | 676.200 | 676.200 | 676.200 | 676.200 | 676.200 |
| S = esfuerzo permisible, psi | | 9,000.000 | 9,000.000 | 9,000.000 | 10,800.000 | 10,800.000 | 10,800.000 | 10,800.000 | 10,800.000 |
| Rn = radio Interior (plg) | | 3.813 | 1.913 | 3.813 | 1.682 | 0.970 | 0.273 | 0.479 | 0.750 |
| E1 = Eficiencia de la unión | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| trn = Espesor calculado de acuerdo a A.9.2 | | 0.373 | 0.226 | 0.373 | 0.208 | 0.150 | 0.095 | 0.112 | 0.133 |
| tn = Espesor de la derivación | | 0.500 | 0.337 | 0.500 | 0.318 | 0.218 | 0.147 | 0.179 | 0.200 |
| tn - trn = Exceso de espesor | | 0.127 | 0.111 | 0.127 | 0.110 | 0.068 | 0.052 | 0.067 | 0.067 |
| t = Espesor del recipiente | | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 |
| tr = Espesor calculado del recipiente | | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 0.565 |
| F = Factor de corrección | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| E1t - Ftr = Exceso de espesor de recipiente | | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 0.185 | 0.185 |
| Área de refuerzo requerida | A | 4.308 | 2.162 | 4.308 | 1.901 | 1.096 | 0.308 | 0.541 | 0.848 |
| Área de exceso de espesor Recipiente o cabezal (usar el mayor valor) | A1 | 1.596 | 0.833 | 1.596 | 0.740 | 0.439 | 0.155 | 0.243 | 0.352 |
| | | 0.463 | 0.402 | 0.463 | 0.395 | 0.358 | 0.332 | 0.344 | 0.352 |
| Área disponible en la derivación proyectada hacia afuera; usar el menor valor | A2 | 0.318 | 0.187 | 0.318 | 0.175 | 0.074 | 0.038 | 0.060 | 0.067 |
| | | 0.476 | 0.416 | 0.476 | 0.413 | 0.255 | 0.195 | 0.251 | 0.251 |
| Área disponible en la derivación proyectada hacia adentro | A3 | 1.129 | 0.266 | 1.129 | 0.205 | 0.067 | 0.005 | 0.016 | 0.040 |
| Área de la sección transversal de la soldadura | A4 | 0.250 | 0.114 | 0.250 | 0.101 | 0.048 | 0.022 | 0.032 | 0.040 |
| Área de refuerzo disponible sin poncho de refuerzo | A1 + A2 + A3 + A4 | 3.292 | 1.400 | 3.292 | 1.221 | 0.628 | 0.397 | 0.452 | 0.499 |
| SI A1 + A2 + A3 + A4 < A requiere refuerzo | | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | SI |
| Área MÍNIMA del poncho de refuerzo (plg ²) | A5 | 1.016 | 0.762 | 1.016 | 0.680 | 0.467 | 0.000 | 0.089 | 0.349 |
| Ancho del poncho de refuerzo | Wp | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 |
| Espesor del poncho de refuerzo | Tp | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.500 | 0.000 | 0.500 | 0.500 |
| Área del poncho de refuerzo (plg ²) | | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 |

ANEXO 12

**DIMENSIONES DE LAS NUEVAS TURBINAS, ESPECIFICACIONES
DE CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS DE LA CASA DE MAQUINAS**



| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

PESES: [kg]

... ..

- 1 -
- 2 -
- 3 -
- 4 -

SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A.
CLIENTE

ABB Turbinas
... ..

RELACIONES DE LAS PARTES DE LA TURBINA

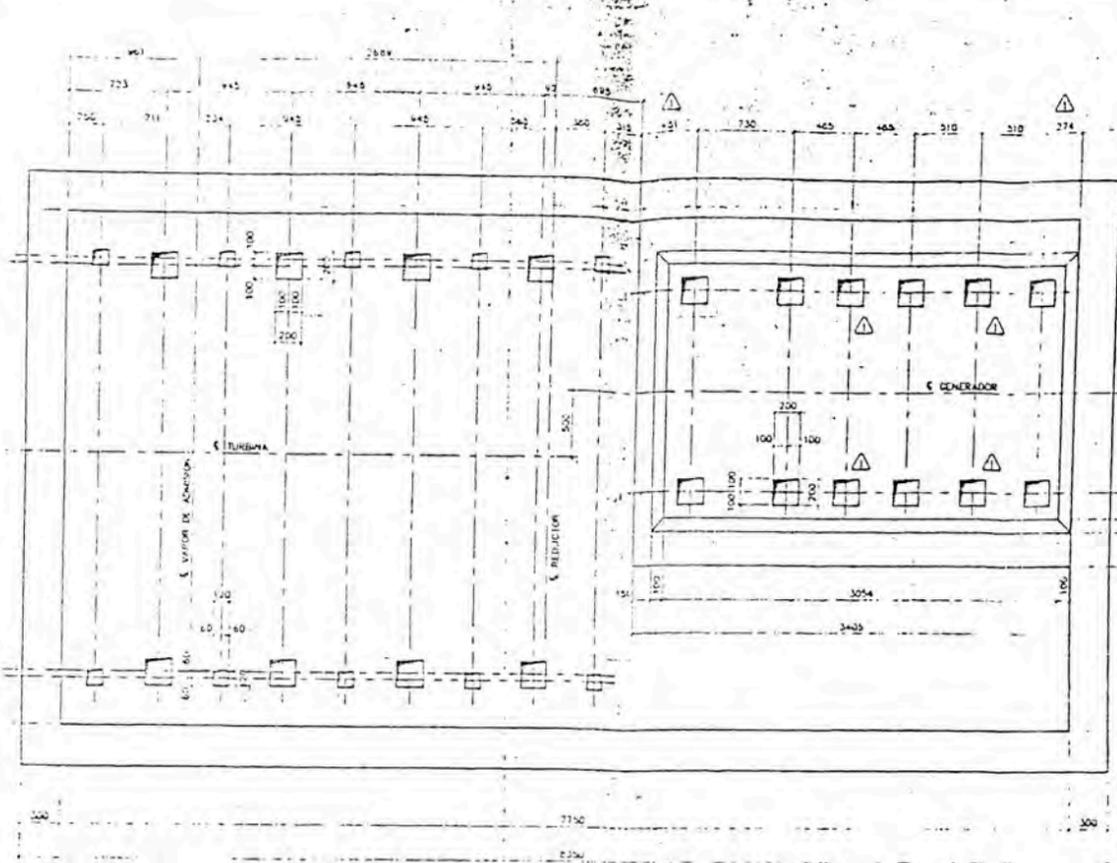
| PARTE | RELACIONADO A | DETALLE |
|-------|---------------|---------|
| ... | ... | ... |

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|------|-------------|----------|--------|----------------|-------------|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... |

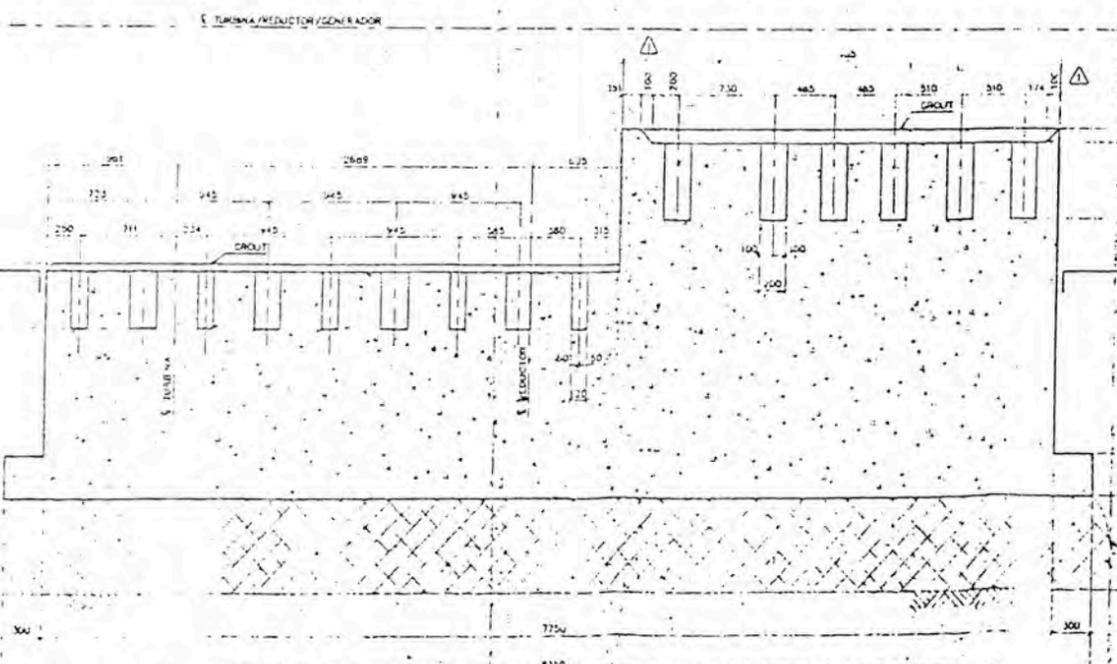
ABB Turbinas

1.94.0452.00.0

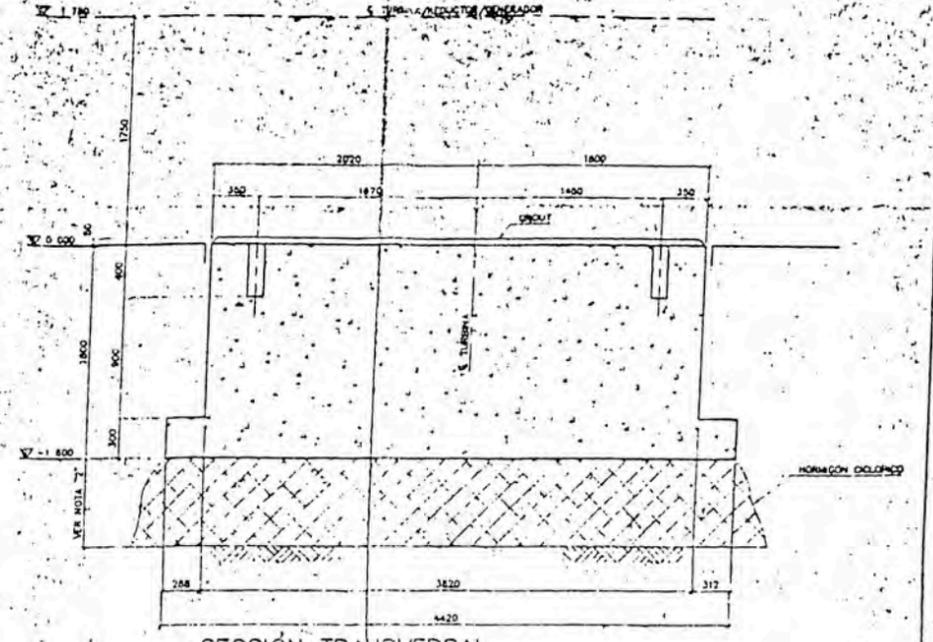
DIAGRAMA DE INSTALACIÓN



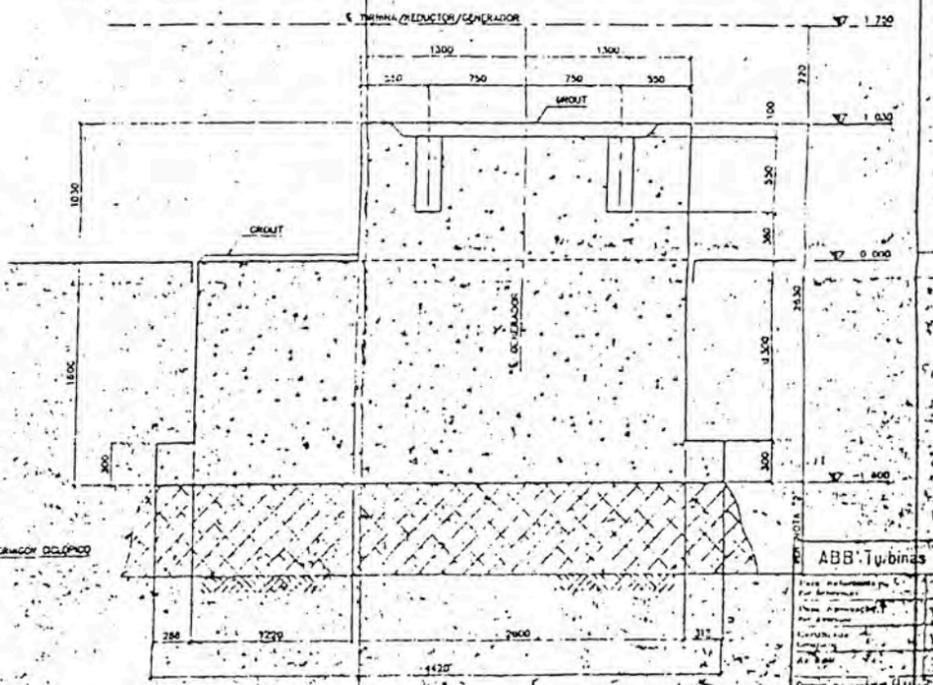
PLANTA BAJA
ESC. 1:25



SECCION LONGITUDINAL
ESC. 1:25



SECCION TRANSVERSAL
ESC. 1:25

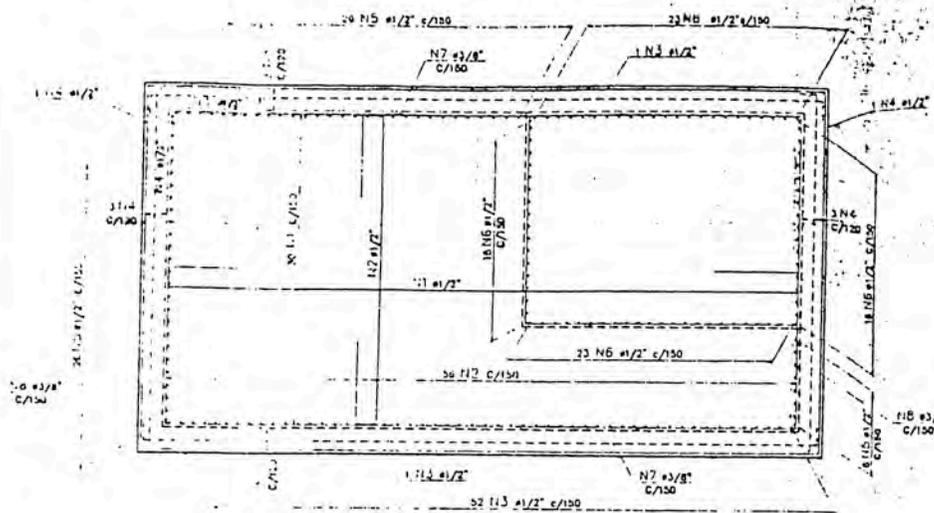


SECCION TRANSVERSAL
ESC. 1:25

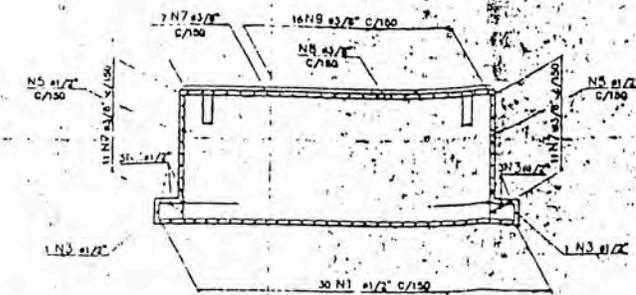
- NOTAS:
- 1 DIMENSIONES EN MILIMETROS
 - 2 LA PROFUNDIDAD DE LAS CAPAS DE HORMIGON CICLOPICO DEBERA SER ESTABLECIDA Y CONFIRMADA EN LA OBRA DE ACUERDO CON EL INFORME TECNICO SOBRE ESTUDIO DE SUELOS PARA FUNDACIONES. SUMINISTRO POR EL CUENTE.

| HORMIGON | fck | VOLUMEN |
|----------|------------------------|----------------------|
| BASE | 180 kg/cm ² | 57,00 m ³ |
| TOTAL | | 57,00 m ³ |

| | | | |
|---|--|---|--|
| | | ABB Turbinas | |
| BASE DE TURBO - SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A. | | BASE DO TURBO GERADOR - OPCAO FUNDACAO DIRETA | |
| FORNAS | | 07 | |
| ESCALA: 1:25 | | DATA: 11/03/78 | |
| PROJETO: 0747/78 | | CLIENTES RESERVADOS | |
| EXECUTIVO: [] | | 1.81.006.00.1 | |
| DIBUJO DE FUNDAMENTO | | (FUNDACION DIRECTA) | |

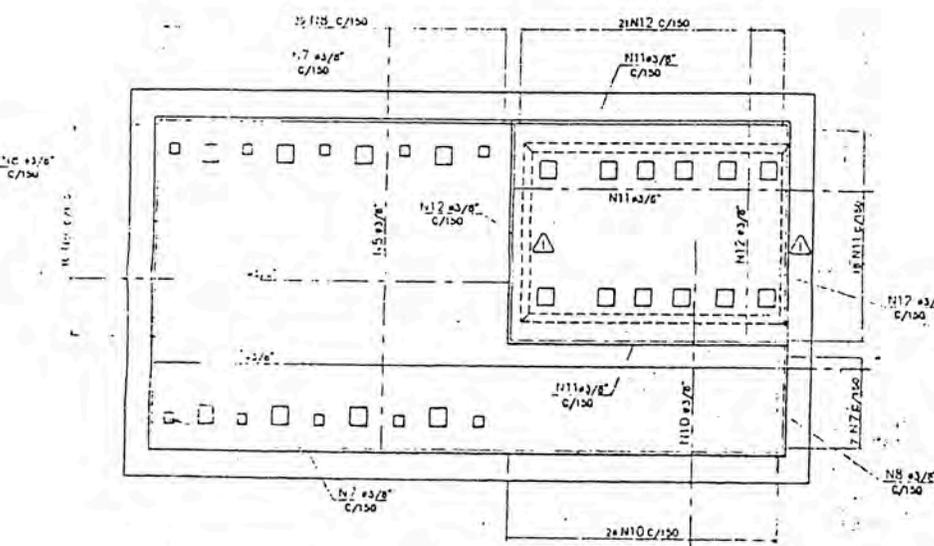


LAJE DE HONDO Y PARED

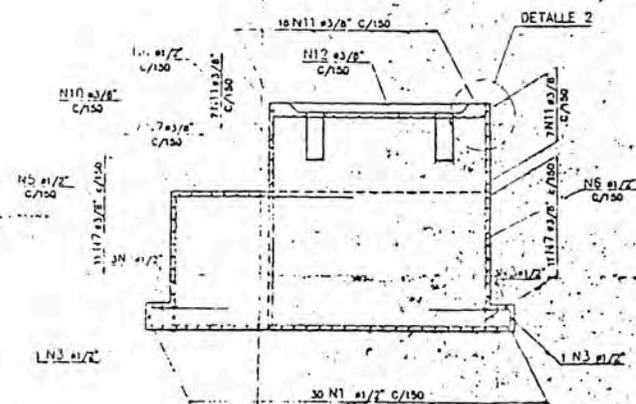


SECCION TRANSVERSAL

| N° | Ø | ESQUEMA | CUANT. | LONGITUD | |
|-----|------|---------|--------|----------|----------|
| | | | | UNIT. | TOT. (m) |
| N1 | 1/2" | 240 | 30 | 30,000 | 448,50 |
| N2 | 1/2" | 220 | 36 | 36,000 | 380,90 |
| N3 | 1/2" | 220 | 36 | 36,000 | 70,00 |
| N4 | 1/2" | 220 | 36 | 36,000 | 38,40 |
| N5 | 1/2" | 220 | 36 | 36,000 | 218,50 |
| N6 | 3/8" | 300 | 28 | 8,400 | 248,03 |
| N7 | 3/8" | 370 | 31 | 9,500 | 228,30 |
| N8 | 3/8" | 350 | 18 | 5,100 | 97,30 |
| N9 | 3/8" | 380 | 26 | 7,800 | 62,40 |
| N10 | 3/8" | 380 | 32 | 9,600 | 131,20 |
| N11 | 3/8" | 380 | 25 | 7,500 | 118,50 |
| N12 | 1/4" | 2500 | 14 | 3,500 | 14,00 |
| N13 | 1/4" | 2500 | 01 | 2,500 | 2,50 |
| N14 | 1/4" | 180 | 42 | 1,260 | 50,40 |
| N15 | 1/4" | 330 | 02 | 660 | 8,60 |
| N16 | 3/8" | 150 | 120 | 18,000 | 90,00 |
| N17 | 1/4" | 200 | 120 | 24,000 | 132,00 |



LAJE SUPERIOR



SECCION TRANSVERSAL

| RESUMEN DE HIERRO | | PESO (kgf) | |
|-------------------|--------|--------------|--------------------|
| ACERO | BITOLA | LONGITUD (m) | UNITARIO/TOT. +10% |
| CA-50 | Ø 1/2" | 204,50 | 0,25 / 52 |
| CA-50 | Ø 3/8" | 94,85 | 0,43 / 165 |
| CA-50 | Ø 1/4" | 1.362,10 | 1,00 / 1.335 |
| TOTAL | | | 2,281 |

ESFUERZO LIMITE DE INFLUENCIA DE LAS BARRAS DE ACERO > 4200 kgf/cm²

| DIAMETRO DE DOBLAMIENTO | |
|-------------------------|---------|
| Ø 1/2" | 3,0 cm |
| Ø 3/8" | 4,0 cm |
| Ø 1/4" | 5,0 cm |
| Ø 3/16" | 6,0 cm |
| Ø 1/8" | 8,0 cm |
| Ø 1/16" | 10,0 cm |

ABB Turbinas

Fecha: 11/03/2008

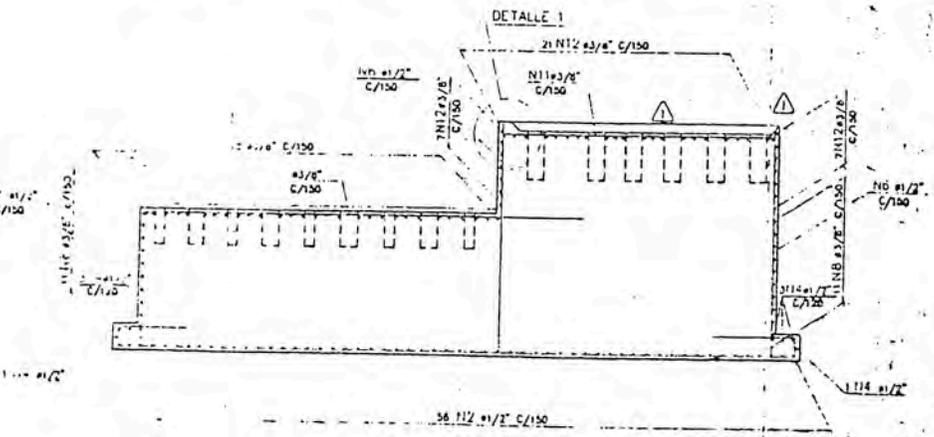
Proyecto: 1.31.0070.D0.1

Hoja: 08

Elaborado: S.D. FERRAS

Revisado: L.S.D. Ferras

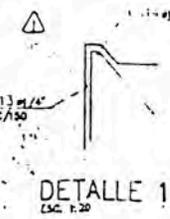
- NOTAS:
- DIMENSIONES EN MILIMETROS
 - RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN = 3,0 cm



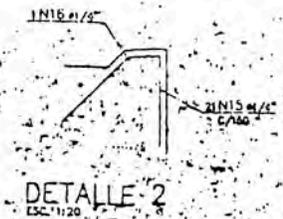
SECCION LONGITUDINAL



ARMAÇÃO DOS NICHOS (30x)

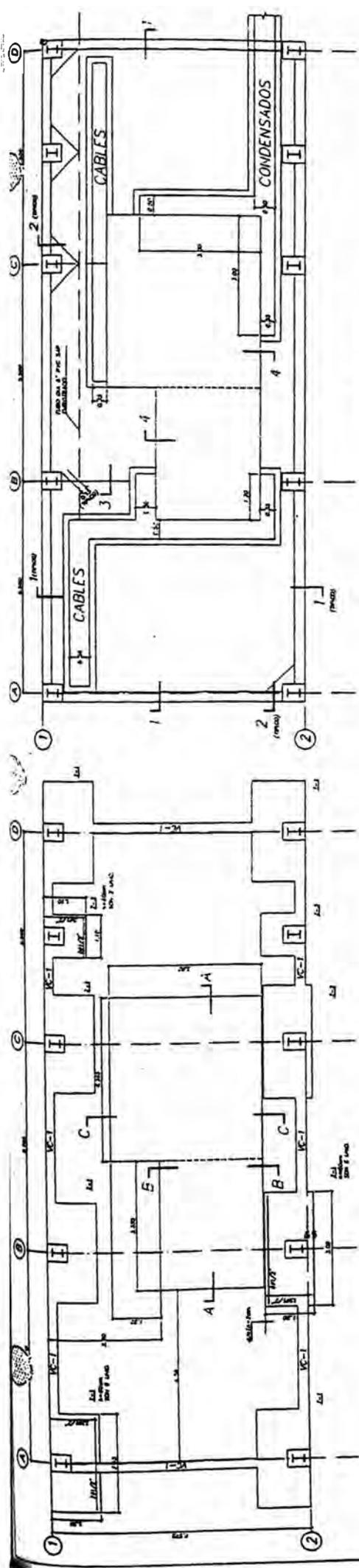


DETALLE 1



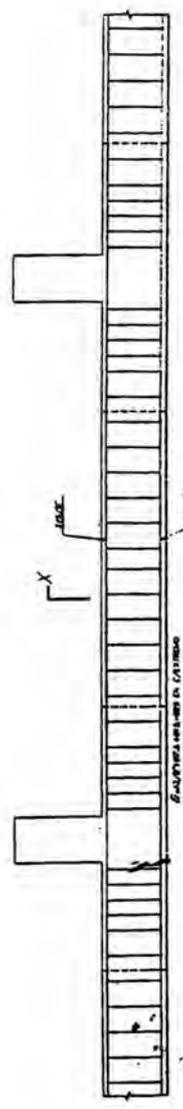
DETALLE 2

| ITEM | REVISÃO | DATA | USO |
|---|---------|--|----------|
| <p>ceb CEB-Engenharia e Comércio Ltda Av. Antônio Gonçalves 306 - J. C. (18) 823 1700 14070-840 Ribeirão Preto-SP - Tel. (16) 823 1738</p> | | | |
| <p>ABB Turbinas</p> | | <p>DATA DE RESERVAÇÃO: 10/02/08 Nº 5772 DE 21/12/77</p> | |
| <p>BASE DE TURBO - SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A.</p> | | <p>PROJETO: 1.31.0070.D0.1</p> | |
| <p>BASE DO TURBO GERADOR - OPÇÃO FUNDAÇÃO DIRETA</p> | | <p>08</p> | |
| <p>FERRAGEM</p> | | <p>716</p> | |
| PROJETO | CEB | PROJETO | 11/03/08 |
| REVISÃO | 1 | REVISÃO | 11/03/08 |
| <p>ABB Turbinas</p> | | | |
| <p>DIBUJO DE FUNDAMENTO (FUNDAÇÃO DIRETA)</p> | | | |
| <p>1.31.0070.D0.1 - 08</p> | | | |

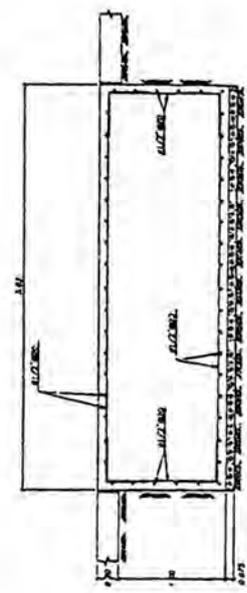


PLANTA DE CIMENTACION

LOSA DE PISO

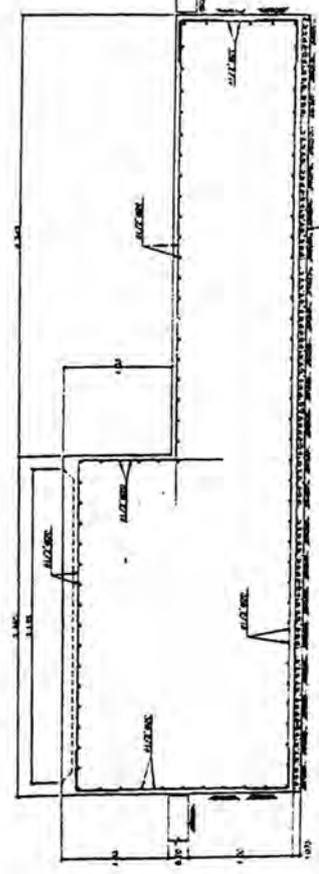


ELEVACION VC-1

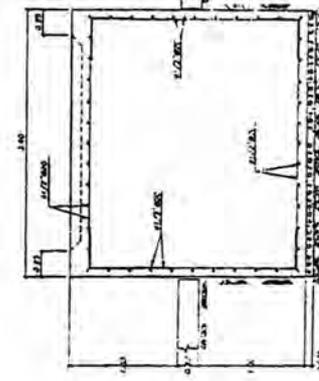


ELEVACION VC-1

C-C



A-A

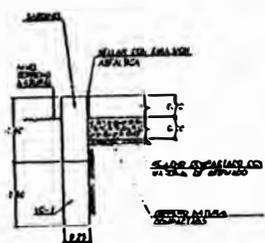


B-B

VER DETALLES DE EMPLOINAMIENTO DE PERNOS EN PANG ABB 1 96 04 52 00'

HOJAS DE REFERENCIA
 - EN ESPECIFICACIONES GENERALES PL. 1-2
 - EN DETALLES DE CIMENTACION DI. 1-2

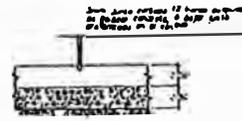
| | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------------|-------|
| CARLOS AUGUSTO SALCEDO CHARRA | | Ingeniero Civil | |
| SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A. | | | |
| CASA DE MAQUINAS TURBINAS | | | |
| CIMENTACION | | | |
| PROYECTO | FECHA | HOJA | TOTAL |
| CASO | 1. 10. 11 | 1 | 10 |
| | | | E-1 |



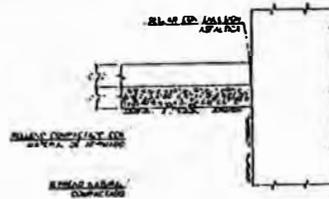
CORTE 1



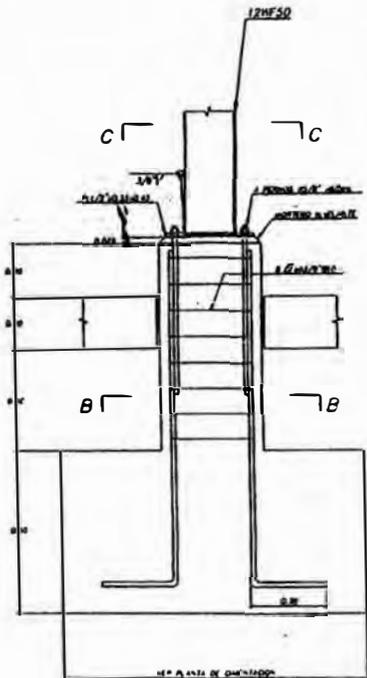
CORTE 2



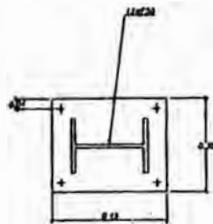
CORTE 3



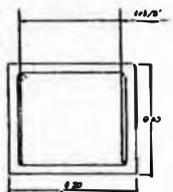
CORTE 4



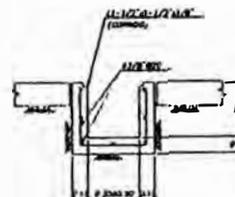
ELEVACION



PLANTA C-C



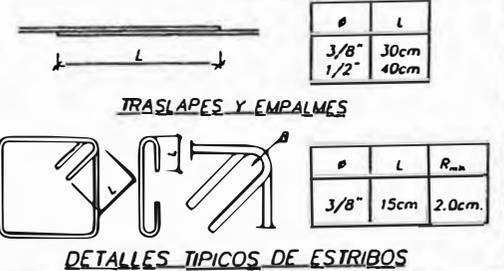
PLANTA B-B



SECCION CANALETAS

| TIPO | H |
|-------------|-------|
| CABLES | 0.35m |
| CONDENSADOS | 0.50m |

DETALLE ARRANQUE DE COLUMNAS



ESPECIFICACIONES GENERALES

CONCRETO

EN SOLADOS : $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$
TAMARO MAXIMO DEL AGREGADO=2"

EN LOSA Y ZAPATAS : $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
TAMARO MAXIMO DEL AGREGADO=1"

ACERO DE REFUERZO : $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

RECUBRIMIENTO LIBRE : 4 cm.

TERRENO

CAPACIDAD PORTANTE : 0.5 kg/cm^2 (VERIFICAR EN OBRA)

ESPECIFICACIONES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

Especificaciones para la fabricación y montaje de la estructura:

AISC (ULTIMA EDICION)

Acero Estructural: ASTM A-36 ($f_y=36000 \text{ lb/in}^2$)

Pernos ASTM A-307

Soldadura: Electrodo AWS A-5.1 Serie E-60

- La calidad y trabajo de la soldadura, conformará con el código de soldadura AWS D.1-69 de la Sociedad Americana de Soldadura.

- La soldadura de las uniones deberá garantizar la capacidad a tracción de cada elemento concurrente.

- El controlista de la estructura de acero deberá someter al proyectista planos de fabricación en los que se muestre en detalle las uniones soldadas.

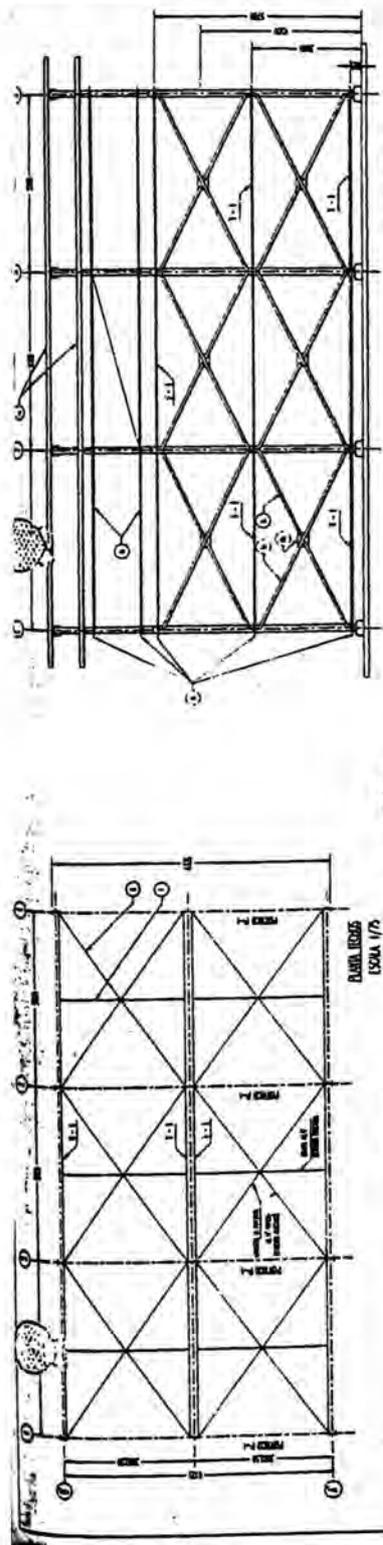
PROTECCION

- Se utilizará un sistema convencional arquitectónico, aplicado sobre superficies preparadas con arena de comera.

- La protección constará de las siguientes capas:

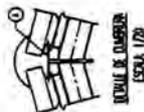
- NORMALES 1 capa espesor mínimo de pintura seca de 0.5m²
- ANTI-ROSIOSIVO 2 capas espesor mínimo de pintura seca de 1.5m²
- ACABADO 2 capas espesor mínimo de pintura seca de 1.5m²

| | | |
|--------------------------------|------|-----------------|
| CARLOS AUGUSTO SALCEDO CHAIRUD | | ingeniero Civil |
| SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A. | | |
| CASA DE MAQUINAS TUPELIAS | | |
| DETALLES DE CIMENTACION | | |
| CASH | CASH | CASH |
| 1:10 | 1:10 | 1:10 |
| | | E-2 |

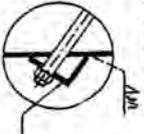


PLANO DE CUBIERTA ESCALA 1/20

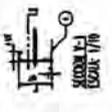
ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20



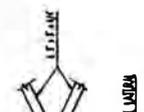
DETALLE DE JUNTURA ESCALA 1/20



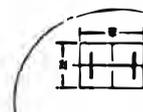
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



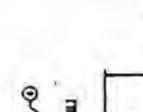
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



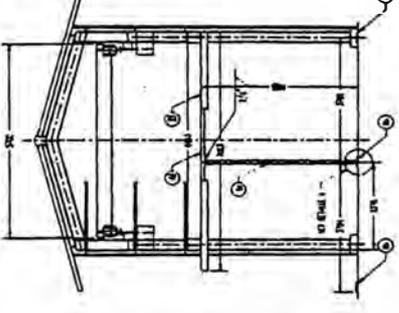
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



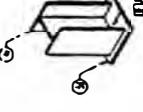
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



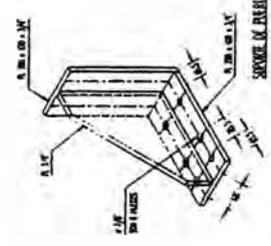
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20



DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



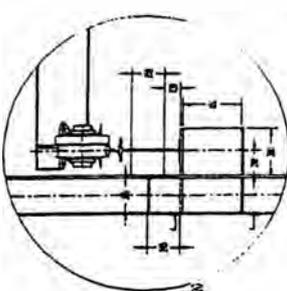
ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20



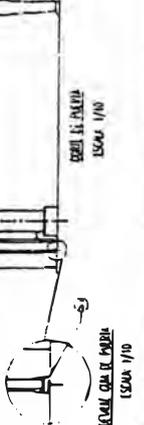
DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



DETALLE DE JUNTURA DE CUBIERTA ESCALA 1/20



ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20



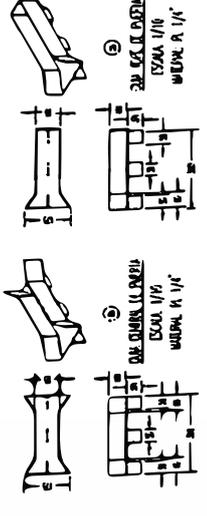
ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20

ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20

ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/20

| ITEM | DESCRIPCION | CANTIDAD | UNIDAD | VALOR |
|------|---------------------|----------|----------------|-------|
| 1 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 2 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 3 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 4 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 5 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 6 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 7 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 8 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 9 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 10 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 11 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 12 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 13 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 14 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 15 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 16 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 17 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 18 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 19 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 20 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 21 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 22 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 23 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 24 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 25 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 26 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 27 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 28 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 29 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 30 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 31 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 32 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 33 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 34 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 35 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 36 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 37 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 38 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 39 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 40 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 41 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 42 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 43 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 44 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 45 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 46 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 47 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 48 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 49 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 50 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 51 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 52 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 53 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 54 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 55 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 56 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 57 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 58 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 59 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 60 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 61 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 62 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 63 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 64 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 65 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 66 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 67 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 68 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 69 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 70 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 71 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 72 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 73 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 74 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 75 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 76 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 77 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 78 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 79 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 80 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 81 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 82 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 83 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 84 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 85 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 86 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 87 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 88 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 89 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 90 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 91 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 92 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 93 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 94 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 95 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 96 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 97 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 98 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 99 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |
| 100 | ALICATADO DE PIEDRA | 100 | M ² | 100 |

16024



ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/10

ESTRUCTURAS Y OBRAS DE ACERO
 PLANOS Y DETALLES DE ACERO
 PARA: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

OSCONOMIX S.O.
 INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 CARRERA 8 No. 10-100
 BOGOTA, COLOMBIA
 TEL: 261 1234
 FAX: 261 1234
 E-MAIL: info@osconomix.com

PROYECTO: ESTRUCTURA METALICA
 CLIENTE: U.S.
 FECHA: 30/5/96
 ESCALA: 1/10

ELEVACION DE CUBIERTA ESCALA 1/10

ANEXO 13
PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE PLACAS ORIFICIO PARA LA
MEDICION DE CAUDAL SEGÚN LA NORMA AFNOR

NORMA AFNOR NF X 10-101, SET. 1949

DIAFRAGMA EN LA TUBERIA DE 12"

$$P_o := 600 \text{ kPaA}$$

$$P_o = \frac{1000}{(9.8 \cdot 10000)} = 6.12245 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \text{Abs}$$

con P_o , de la tabla 4.2 hallamos dP

$$dP := 0.3621 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$T_o := 196 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w_o := \frac{1}{0.348471} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_o = 2.86968 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D := 0.311 \text{ m}$$

$$D = 0.311 \text{ m}$$

$$q_p := 7.777778 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

TANTEO

la relacion de presiones $P_2/P_1 = r_{p2_1}$

$$r_{p2_1} := 0.9408$$

con r_{p2_1} de la fig. 4.31:

$$\varepsilon := .98$$

$$N := \frac{q_p}{100 \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot dP \cdot w_o}}$$

$$N = 0.23139$$

con N de la fig. 4.10:

$$C := .606$$

$$mE := \frac{N}{C}$$

$$mE = 0.38183$$

con mE de la fig. 4.12:

$$m := .359$$

$$q_v := \frac{q_p}{w_o}$$

$$q_v = 2.71033 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v_o := \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot D^2}$$

$$v_o = 35.67891 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

de la tabla 4.6 la viscosidad cinematica del vapor de agua

$$\nu := 8.1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Rd := \frac{v_o \cdot D}{\nu}$$

$$Rd = 1.36989 \times 10^6$$

con Rd las figs. 4.13, 4.15 y 4.17:

$$J_1 := 1$$

$$J_2 := 1$$

$$J_3 := 1$$

$$J := J_1 \cdot J_2 \cdot J_3$$

$$J = 1$$

mE corregido:

$$mE1 := \frac{N}{C \cdot J}$$

$$mE1 = 0.38183$$

con mE1 de la fig. 4.12:

$$m := 0.359$$

$$d := D \cdot \sqrt{m}$$

$$d = 0.18634 \quad m$$

DILATACION POR TEMPERATURA

INOX 18/8

$$H := 1.71 \cdot 10^{-5}$$

$$do := d \cdot [1 - H \cdot (To - 16)]$$

$$do = 0.18577$$

ACERO 13% Cr

$$H := 1.13 \cdot 10^{-5}$$

$$do := d \cdot [1 - H \cdot (To - 16)]$$

$$do = 0.18596$$

PERDIDA DE CARGA

con m de la fig. 4.18

$$dPt := 0.625$$

$$DPt := dPt \cdot dP$$

$$DPt = 0.22631 \quad \frac{kg}{cm^2}$$

$$Pc := Po - \frac{DPt \cdot 9.81 \cdot 100^2}{1000}$$

$$Pc = 577.79874 \quad kPaA$$

$$DPt := \frac{Po - Pc}{Po}$$

$$DPt = 3.70021 \%$$

CALCULO DE P1 y P2

$$v1 := 0$$

$$P1 := Po + \frac{w0}{2 \cdot 9.81 \cdot 1000} \cdot (v0^2 - v1^2)$$

$$P1 = 600.18619 \quad kPaA$$

$$P2 := P1 - \frac{dP \cdot 9.81 \cdot 100^2}{1000}$$

$$P2 = 564.66418 \quad kPaA$$

$$rp2_1 := \frac{P2}{P1}$$

$$rp2_1 = 0.94082$$

DE LA FIG. 4.5, CON m

TRAMO ENTRE DOS VALVULAS

$$L1 := 17 \cdot D$$

$$L1 = 5.287 \quad m$$

$$L2 := 5 \cdot D$$

$$L2 = 1.555 \quad m$$

DIAFRAGMA EN LA TUBERIA DE 6"

$$P_o := 1600 \text{ kPaA}$$

con P_o , de la tabla 4.2 hallamos dP

$$P_o \cdot \frac{1000}{(9.8 \cdot 10000)} = 16.32653 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \text{Abs}$$

$$dP := 1.27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$T_o := 290 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w_o := \frac{1}{0.155264} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$w_o = 6.44064 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D := 6.07 \cdot 0.254 \text{ m}$$

$$D = 0.15418 \text{ m}$$

$$q_p := \frac{16}{3.6} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

TANTEO

la relacion de presiones $P_2/P_1 = rp_{2_1}$

$$rp_{2_1} := 0.922$$

con rp_{2_1} de la fig. 4.31:

$$\varepsilon := .97$$

$$N := \frac{q_p}{100 \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot dP \cdot w_o}}$$

$$N = 0.19373$$

con N de la fig. 4.10:

$$C := .6055$$

$$mE := \frac{N}{C}$$

$$mE = 0.31995$$

con mE de la fig. 4.12:

$$m := .304$$

$$q_v := \frac{q_p}{w_o}$$

$$q_v = 0.69006 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v_o := \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot D^2}$$

$$v_o = 36.96184 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

de la tabla 4.6 la viscosidad cinematica del vapor de agua

$$\nu := 3.6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Rd := \frac{v_o \cdot D}{\nu}$$

$$Rd = 1.58297 \times 10^6$$

con Rd las figs. 4.13, 4.15 y 4.17:

$$J_1 := 1$$

$$J_2 := 1$$

$$J_3 := 1$$

$$J := J_1 \cdot J_2 \cdot J_3$$

$$J = 1$$

mE corregido:

$$mE1 := \frac{N}{C \cdot J}$$

$$mE1 = 0.31995$$

con mE1 de la fig. 4.12:

$$m := 0.304$$

$$d := D \cdot \sqrt{m}$$

$$d = 0.08501 \quad m$$

DILATACION POR TEMPERATURA

INOX 18/8

$$H := 1.71 \cdot 10^{-5}$$

$$do := d \cdot [1 - H \cdot (To - 16)]$$

$$do = 0.08461$$

ACERO 13% Cr

$$H := 1.13 \cdot 10^{-5}$$

$$do := d \cdot [1 - H \cdot (To - 16)]$$

$$do = 0.08474$$

PERDIDA DE CARGA

con m de la fig. 4.18

$$dPt := 0.68$$

$$DPt := dPt \cdot dP$$

$$DPt = 0.8636 \quad \frac{kg}{cm^2}$$

$$Pc := Po - \frac{DPt \cdot 9.81 \cdot 100^2}{1000}$$

$$Pc = 1.51528 \times 10^3 \text{ kPaA}$$

$$DPt := \frac{Po - Pc}{Po}$$

$$DPt = 5.29495\%$$

CALCULO DE P1 y P2

$$v1 := 0$$

$$P1 := Po + \frac{w0}{2 \cdot 9.81 \cdot 1000} \cdot (v0^2 - v1^2)$$

$$P1 = 1.60045 \times 10^3 \text{ kPaA}$$

$$P2 := P1 - \frac{dP \cdot 9.81 \cdot 100^2}{1000}$$

$$P2 = 1.47586 \times 10^3 \text{ kPaA}$$

$$rp2_1 := \frac{P2}{P1}$$

$$rp2_1 = 0.92215$$

DE LA FIG. 4.5, CON m

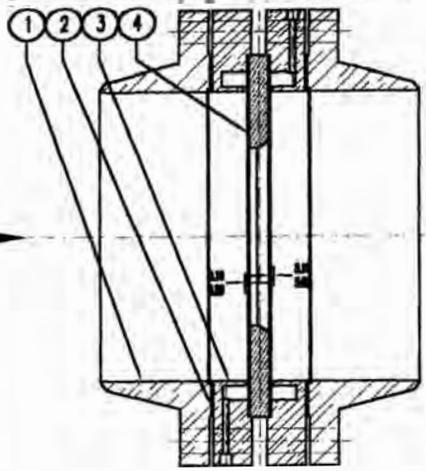
TRAMO ENTRE DOS VALVULAS

$$L1 := 12.5 \cdot D$$

$$L1 = 1.92723 \text{ m}$$

$$L2 := 5 \cdot D$$

$$L2 = 0.77089 \text{ m}$$



ENSAMBLE

NOTAS :

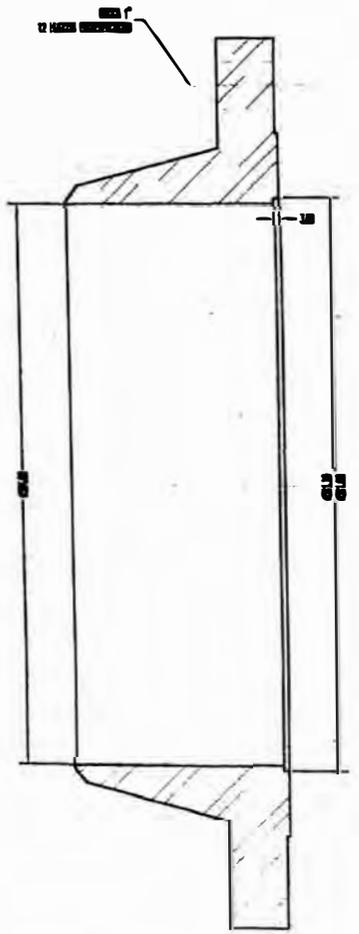
- DIMENSIONES EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESTABLEZCA DE OTRA MANERA
- LOS BRIDAJES DE SOLDADURA SON MEDIDAS DE ACUERDO A LA NORMA ISO. 4000

TOLENCIAS

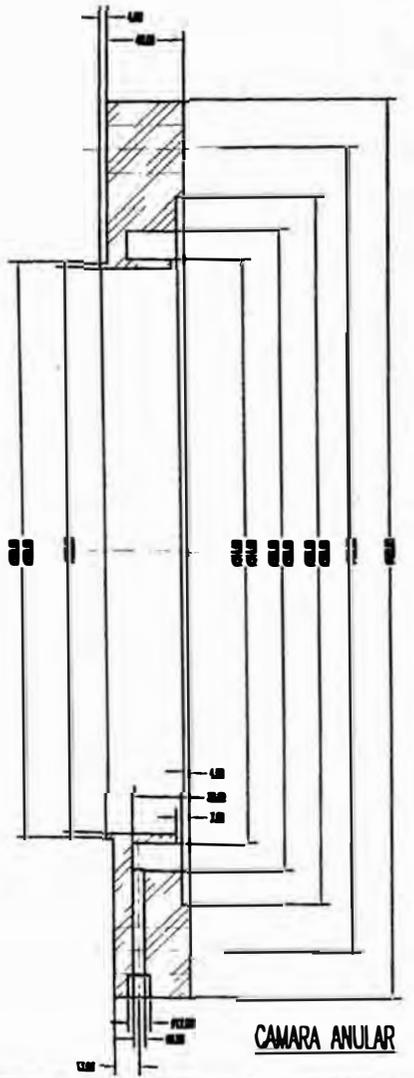
- 1 -LAS TOLENCIAS INDICADAS CON LAS DIMENSIONES DEBEN SER ESPECIFICAMENTE SELECCIONADAS PARA SUSTANCIAS LOS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.
- 2 -DIMENSIONES QUE NO TIENEN TOLENCIA MEDIAN LAS DIMENSIONES NOMINALES DEL MED. LOS LIMITES ESTABLECIDOS EN LA SIGUIENTE TABLA SON LA MATERIAL ADICIONAL QUE DEBE SER REMOVIDA.

| TOLENCIAS USANDO ESPESOR CUANDO SE HA ESTABLECIDO OTRO DE OTRA MANERA | | |
|---|------------|----------|
| ESPESES | DIMENSION | TOLENCIA |
| 30 | HASTA 130 | ± 0.15 |
| 130 | HASTA 318 | ± 0.30 |
| 318 | HASTA 1000 | ± 0.50 |
| 1000 | HASTA 2000 | ± 0.80 |
| ANGULO | | |
| ESPESES | HASTA 80° | ± 0° |

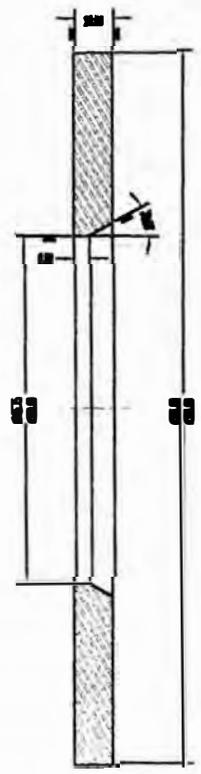
3 -PARA UNA GUIA EN LA SELECCION DE TOLENCIAS VER LA NORMA DIN 7180.



BRIDA



CAMARA ANULAR

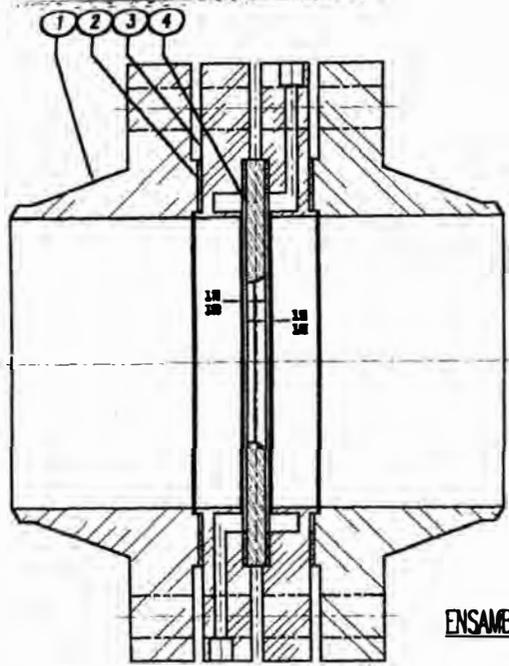


DIAFRAGMA

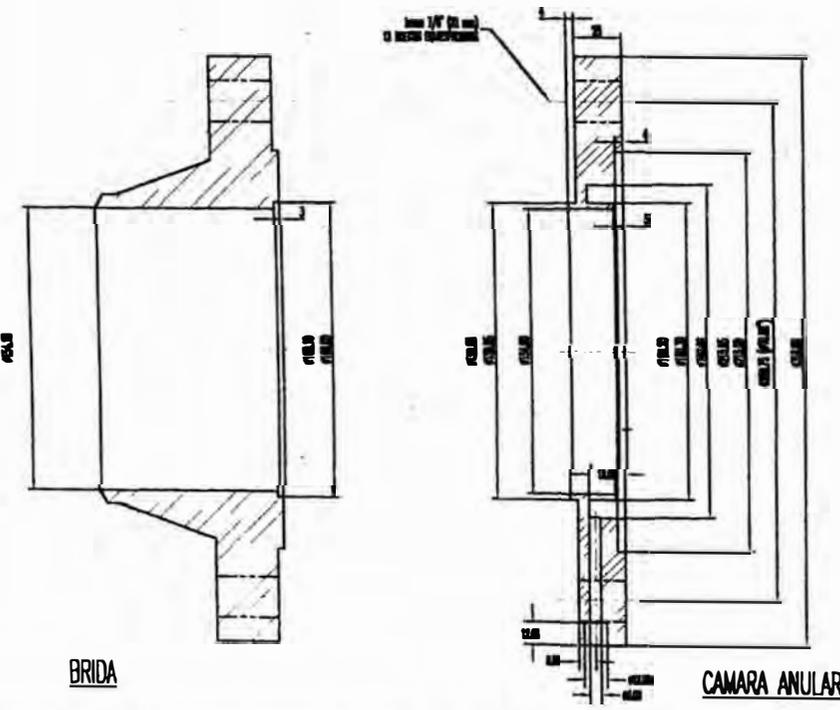
PARAMETROS DE DISEÑO DEL DIAFRAGMA:

- FLUIDO: VAPOR, 5 bar, 196°C
- FLUJO: 28TM/h
- PRESION DIFERENCIAL: 0.365 kg/cm²
- DIAMETRO DEL ORIFICIO EN CONDICIONES DE OPERACION: 186.34 mm

| 4 | DIAFRAMA 5 bar, 196°C | 1 | ACERO INOX. EN FORMA DE Q/LASER |
|---------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | CAMARA ANULAR PARA DIAFRAMA | 2 | ACERO INOX. EN FORMA DE Q/LASER |
| | BRIDA 406.00 - 406.00 - 7 mm ESP. | 4 | BRIDA ESTANDO EN ZONAS 10 Q/LASER |
| 1 | BRIDA Ø12 CLASE 150 (API 614) | 2 | ACERO A50 A 105 |
| PIEZA Nro | DESCRIPCION | CANT. | ESPECIFICACION |
| OBSERVACIONES | | | |
| BRIDA | 1/2 | GCZ Ingenieros s.d. CALLAO - PERU SUBSECCION DE FERROS DIAFRAMA 12" - 5 bar - 196°C | |
| BRIDAJE | | | |
| APERTURA | | | |
| GRASA | RSCH | | |
| GRASA | RSCH | FLUIDO DE CONSTRUCCION | |
| GRASA | RSCH | MATERIALES: METALES | |
| GRASA | RSCH | PROTECCION | |
| GRASA | RSCH | DIN-ISO 1300 DIN 3147-3 | |
| GRASA | RSCH | FORMATO: PLANO Nro | |
| GRASA | RSCH | A2 | |
| GRASA | RSCH | DF-12-5 | |
| GRASA | RSCH | PROYECTO: 0 | |
| GRASA | RSCH | FECHA: 2/4/96 | |



ENSAMBLE



BRIDA

CAMARA ANULAR

DIAFRAGMA

NOTAS - 1
 EN MEDIDAS A MENOS QUE SE ESTABLEZCA DE OTRA MANERA
 -LOS ANGULOS DE SOLDADURA SON MEDIDAS DE ACUERDO A LA NORMA I.S.O. 4063

- TOLENCIAS**
- LAS TOLENCIAS MENCIONADAS CON LAS DIMENSIONES DEBEN SER ESPECIFICAMENTE SELECCIONADAS PARA SATISFICER LOS REQUISITOS FUNCIONALES.
 - DIMENSIONES QUE NO TIENEN TOLENCIAS INDICAN LAS DIMENSIONES NOMINALES DEL METAL. LOS LIMITES ESTABLECIDOS EN LA SIGUIENTE TABLA SON PARA EL MATERIAL ADICIONAL QUE DEBE SER REMOVIDO.

| DIMENSIONES | | TOLENCIAS | | |
|----------------|------|-----------|------|--------|
| SCOTE | 30 | HASTA | 100 | ± 0.15 |
| SCOTE | 100 | HASTA | 375 | ± 0.30 |
| SCOTE | 375 | HASTA | 1000 | ± 0.30 |
| SCOTE | 1000 | HASTA | 3000 | ± 0.60 |
| ANGULOS | | | | |
| SCOTE | 15° | HASTA | 60° | ± 30' |

3 - PARA UNA GUIA EN LA SELECCION DE TOLENCIAS VER LA NORMA DIN 7185.

PARAMETROS DE DISEÑO DEL DIAFRAGMA:

- FLUIDO: VAPOR, 15 bar, 290°C
- FLUJO: 16TM/h
- PRESION DIFERENCIAL: 1.27 kg/cm²
- DIAMETRO DEL ORIFICIO EN CONDICIONES DE OPERACION: 85.01 mm

| | | | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|--|
| 4 | ORIFICIO 15 bar, 290°C | 1 | ACERO INOX. EN ESTADO BR/AL/304 |
| 3 | CAMARA ANULAR PARA COMPRESION | 2 | ACERO INOX. EN ESTADO BR/AL/304 |
| 2 | DIAPHRAGMA - Ø 115.00 - 2 mm ESP. | 4 | CAUCHO ESTERILIZADO EN ESTADO BR/AL/304 |
| 1 | BRIDA 60° CLASE 300 (Ø 115.00) | 2 | ACERO INOX A 304 |
| PIEZA Nro | DESCRIPCION | CANT. | ESPECIFICACION |
| OBSERVACIONES | | ESCALA: 1/2 | <p>GCZ Ingenieros s.a. CALLAO - PERU SUBSECCION DE FUNDICION OFICINA 2° - 15 bar - 290°C</p> |
| | | TITULO: | |
| | | DESCRIPCION: | |
| | | PROYECTOR: | |
| | | PROYECTOR: | |
| | | FORMA: 20/0/00 | |
| | | FORMATO: A2 | |
| | | PLANO Nro: DF-6-15 | |
| | | | |

ANEXO 14

**CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION POR FRICCION EN LAS
TUBERIAS PRINCIPALES DE 45, 15 Y 5 bar**

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION POR FRICCION EN LAS TUBERIAS PRINCIPALES DE 45, 15 Y 5 bar

Existen diversos procedimientos y fórmulas para este cálculo; todos ellos dan soluciones aproximadas, siendo algunos más precisos que otros. En nuestro caso, utilizaremos la muy conocida fórmula de Darcy para la cual, el punto crítico es la determinación del factor de fricción, que depende del N° de Reynolds, el que a su vez depende entre otros factores de la densidad del fluido, y el vapor bajo las condiciones que estamos analizando es un fluido compresible.

Se ha demostrado (ver el capítulo 3 de [3], "Fluid Mechanics") que para estimar la pérdida de presión con suficiente precisión en flujos de vapor en tuberías comerciales, se puede calcular el N° de Reynolds utilizando la densidad del vapor a una presión promedio entre la de entrada y salida del ducto; sin embargo, al iniciar el cálculo aún no se conoce la presión de salida del vapor para poder obtener el promedio.

Para estimar un primer valor de la presión de salida del ducto, podemos utilizar una de las fórmulas presentadas por Reno King en "Fluid Mechanics", capítulo 3 [3], para la cual se asume que el vapor sobrecalentado se comporta como un gas perfecto y además el proceso del flujo es isotérmico:

$$P_2 = (P_1^2 - CW^2 L)^{1/2} \dots (1)$$

| | | | |
|-------|----------------|---|---|
| Donde | P ₂ | = | Presión final (pisa) |
| | P ₁ | = | Presión inicial (psia) |
| | W | = | Flujo másico (lb/hr) |
| | L | = | Longitud equivalente total (pies) |
| | C | = | $6.7444 \times 10^{-6} \times f \times P_1 \times v_1 / d^5$ |
| | v ₁ | = | Volumen específica inicial (pie ³ / lb) |
| | d | = | diámetro interior de la tubería (plg) |
| | f | = | facto de fricción aproximado, según Babcock & Wilcox: $f = 0.00108(1 + 3.6 / d)$ |

Con el valor inicial obtenido de la ecuación (1) arrancamos un cálculo iterativo del factor de fricción con el diagrama de Moody y de la caída de presión con la ecuación de Darcy:

$$\delta P = \rho f L/d V^2/2g \dots (2)$$

Usando unidades inglesas:

$$\delta P = 0.001295 \rho f L V^2 / d \dots (2a)$$

| | | | |
|-------|------------|---|--|
| Donde | δP | = | Caída de presión (psi) |
| | ρ | = | Densidad a la presión promedio (lb/pie ³) |
| | f | = | Factor de fricción del diagrama de Moody |
| | L | = | Longitud equivalente (pies) |
| | d | = | Diámetro interior (plg) |
| | V | = | Velocidad del flujo (pie / s) |

Para obtener el factor de fricción necesitamos el N° de Reynolds:

$$Re = D V \rho / \mu \dots (3)$$

| | | | |
|-------|--------|---|---|
| Donde | Re | = | N° de Reynolds (adimensional) |
| | D | = | Diámetro hidráulico; para tuberías circulares es igual al diámetro interior |
| | V | = | Velocidad del flujo (pie / s) |
| | ρ | = | Densidad del vapor (lb / pie ³) |
| | μ | = | Viscosidad absoluta (lb:s / pie ²) |

A continuación, en la tabla A.14.1 se resume la secuencia de cálculos para los tramos principales de 45, 15 y 5 bar. En todos los casos, se ha considerado en la longitud del tramo la longitud equivalente de dos válvulas de globo y dos codos de radio largo.

TABLA A.14.1.- CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN TUBERIAS PRINCIPALES

| Presión Inicial P1 | | Temperatura Inicial T1 | | Diametro del ducto | | Rugosidad e/D | Longitud Equivalente | | | Tanteo inicial | | | | | | ITERACION N° 1 | | | | | ITERACION N° 2 | | | | | Presión de salida P2 | | | |
|--|--------|------------------------|--------|--------------------|--------|---------------|----------------------|-------|---------|----------------------|-------------------|----------|----------------|--------------|----------------------|------------------|------------|------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|------------------|------------|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| | | | | | | | Válvulas | Codos | Tubería | Factor de fricción f | Volumen espec. v1 | Factor C | flujo másico W | Velo-cidad V | Presión de salida P2 | Presión prom. Pr | Densidad ρ | Viscocidad 10000,000 μ | N° de Reynolds Re | Factor de fricción f Moody | Caida de Presión ΔP | Presión prom. Pr | Densidad ρ | Viscocidad 10000,000 μ | N° de Reynolds Re | | Factor de fricción f Moody | Caida de Presión ΔP | Presión de salida P2 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48.00 | 676.20 | 420.00 | 788.00 | 8 | 7.625 | 0.000220 | 420.00 | 28.00 | 137.80 | 0.0158990 | 1.0388 | 2.92E-09 | 110.000 | 100.10 | 680.71 | 688.45 | 0.945966 | 7.9576 | 7.561E+07 | 0.0138 | 13.01 | 689.69 | 0.953582 | 7.9630 | 7.617E+07 | 0.0137 | 13.02 | 683.18 | 45.11 |
| 16.00 | 235.20 | 290.00 | 554.00 | 8 | 7.976 | 0.000220 | 420.00 | 28.00 | 196.85 | 0.0156746 | 2.4578 | 1.89E-09 | 35.200 | 69.26 | 231.96 | 233.58 | 0.404538 | 5.1757 | 3.600E+07 | 0.0138 | 2.80 | 233.80 | 0.404915 | 5.1747 | 3.602E+07 | 0.0137 | 2.79 | 232.41 | 15.81 |
| 8.00 | 88.20 | 175.00 | 347.00 | 16 | 15.376 | 0.000150 | 820.00 | 52.00 | 196.85 | 0.0133286 | 5.2292 | 4.82E-11 | 61.600 | 69.39 | 87.08 | 87.64 | 0.190262 | 3.7157 | 4.563E+07 | 0.0125 | 1.03 | 87.68 | 0.190262 | 3.7157 | 4.553E+07 | 0.0125 | 1.03 | 87.17 | 5.93 |
| AUMENTO EL DIAMETRO DE TUBERIAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46.00 | 676.20 | 420.00 | 788.00 | 10 | 9.582 | 0.000170 | 420.00 | 34.00 | 137.80 | 0.0146661 | 1.0368 | 8.81E-10 | 110.000 | 63.65 | 671.52 | 673.86 | 0.950527 | 7.9803 | 5.088E+07 | 0.0130 | 4.05 | 674.17 | 0.959978 | 7.9816 | 5.100E+07 | 0.0130 | 4.05 | 672.15 | 45.72 |
| 16.00 | 235.20 | 290.00 | 554.00 | 10 | 10.020 | 0.000170 | 420.00 | 34.00 | 196.85 | 0.0146602 | 2.4578 | 5.67E-10 | 35.200 | 43.89 | 234.23 | 234.71 | 0.406395 | 5.1787 | 2.878E+07 | 0.0130 | 0.88 | 234.77 | 0.406494 | 5.1789 | 2.878E+07 | 0.0130 | 0.88 | 234.34 | 15.94 |
| 6.00 | 88.20 | 175.00 | 347.00 | 20 | 19.250 | 0.000085 | 820.00 | 62.00 | 196.85 | 0.0128197 | 5.2292 | 1.51E-11 | 61.600 | 44.27 | 87.85 | 88.02 | 0.190921 | 3.7177 | 3.647E+07 | 0.0118 | 0.32 | 88.04 | 0.190956 | 3.7178 | 3.648E+07 | 0.0118 | 0.32 | 87.88 | 5.98 |

ANEXO 15

**ESPECIFICACIONES Y ESPESORES RECOMENDADOS PARA
AISLAMIENTOS TERMICOS**

TABLA A.15.1.- DESIGNACIONES ASTM PARA MATERIALES DE AISLAMIENTOS TERMICOS

| Product form | Reference name and general description | Accepted max temp. ¹ F | ASTM specifications ² | Military (MIL) and Maritime (MA) specifications ² | Federal specifications ² |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Pipe insulation | Asbestos (molded amosite and binder) | 1200 | | MIL-I-2781 Grade II, Class C Grade III, Class F | HH-I-561, Type IV |
| | Calcium silicate (calcium silicate and asbestos) | 1200 | C345 | MIL-I-2781 Grade I, Class B Grade II, Class D Grade III, Class E, Type I | HH-I-523, Class 2 |
| | Cellular glass (foamed, fabricated from block) | 800 | C381 | | HH-I-551 |
| | Cellular silica (foamed, fabricated from block) | 1600 (cyclic) 2200 (cont.) | | | |
| | Diatomaceous silica (diatomaceous silica and asbestos) | 1600 1900 | C334 C334 | MIL-I-2781 Grade III, Class E, Type II | |
| | 85% Magnesia (Basic magnesium carbonate and asbestos) | 600 | C320 | MIL-I-2781 Grade I, Class B | HH-I-554, Type II |
| | Mineral fiber (rock, slag or glass) low-temp (organic binder) | 250 | C300 | | HH-I-562, Type II HH-I-552, Type I |
| | Low- and medium-temp (fine fiber, organic binder) | 370 | C281 C300 | MIL-I-22344 | HH-I-562, Type II HH-I-552, Type I |
| Blocks and boards | High-temp (blanket-type metal reinforced) | 1200 | C280 | | HH-I-552, Type II |
| | Calcium silicate (calcium silicate and asbestos) | 1200 | C344 | MIL-I-2819, Classes A and B MIL-I-002819, Classes 1 and 2 | HH-I-523, Class 1 |
| | Cellular glass (foamed) | 800 | C343 | | HH-I-551 |
| | Cellular silica (foamed) | 1600 (cyclic) 2200 (cont.) | | | |
| | Diatomaceous silica (diatomaceous silica and asbestos) | 1600 1900 | C333 C333 | MIL-I-2819, Classes B and C MIL-I-002819, Class 3 MIL-I-002819, Class 4 | |

| | | | | | |
|-------------------------------|--|------|---------------------|--|--|
| | 85% magnesia (basic magnesium carbonate and asbestos) | 600 | C319 | MIL-I-2819, Class A MIL-I-002819, Class 1 | HH-I-554, Type I |
| | Mineral fiber (rock, slag or glass) low-temp (organic binder) | 250 | C378 | 32-MC-2 ⁵ MIL-I-742 ⁶ | HH-I-546, Class A HH-I-526, (for Roofs) HH-I-562, Type I |
| | Low-temp (fine fiber, organic binder) | 400 | C378, C392, Class 1 | | HH-I-562, Type I |
| | High-temp (inorganic binder) | 1800 | C392, Class 2 | | HH-I-564, Class B, C, D |
| Cements | Calcium silicate (calcium silicate, asbestos, and binders) | 1200 | | | HH-I-523, Class 3 |
| | Diatomaceous silica (diatomaceous silica and asbestos) | 1900 | C197 | MIL-C-2861, Type A | HH-I-00500, Type V |
| | Magnesia (basic magnesium carbonate, asbestos, and binder) | 600 | C193 | MIL-P-2886 | HH-I-00500, Type I |
| | Mineral fiber (rock, slag, or glass) insulating (colloidal clay and binder) | 1800 | C195 | MIL-C-2861, Type B | HH-I-00500, Type III HH-C-168 |
| | Finishing (hydraulic-setting cement and binder) | 1200 | C449 | MIL-C-2908, Type II | |
| Blankets and felts | Mineral fiber (rock, slag, or glass) metal-reinforced blanket | 1200 | C263 | MIL-I-2818 | HH-I-563, Type I |
| | Flexible (organic bonded) | 400 | C264 C382 | MIL-I-942 MIL-I-2202 ^{3,6} MIL-B-5924 } MIL-I-16688 MIL-I-7171 } ⁵ 32-MA-3 ³ MIL-I-15475 | HH-I-542, Type I |
| | Industrial batt (no binder) | 1200 | C262 | MIL-W-15427 | |
| | Felt (semi rigid, organic bonded) | 400 | C264 C382 | MIL-I-16688 } ⁷ MIL-I-942 MIL-I-15475 } ⁷ 32-MC-1 ³ | HH-I-521, Type I HH-I-542, Type II HH-I-563, Type II |
| Loose and granulated | Mineral fiber (rock, slag or glass) | 1200 | | | HH-I-521, Type I—Loose Type II—Gran |

¹ These temperatures are generally accepted as maximum. For specific applications consult the manufacturer.

² See latest revisions of these specification numbers. In columns where no specification number appears, no specifications have yet been adopted.

³ Specifications 32-MC-1 and -2 and 32-MA-3 apply to Maritime Administration use only.

⁴ Specification MIL-I-742 applies to special mineral fiber board used by the Navy for hull and duct insulation.

⁵ Specifications MIL-B-5924 and MIL-I-7171 apply to glass fiber batting and blanket for thermal and acoustical insulation of aircraft compartments.

⁶ Supersedes MIL-I-15365 and MIL-I-16022.

⁷ Specifications MIL-I-15475 and MIL-I-16688 apply to Naval cold storage and refrigeration spaces, etc.

TABLA A.15.2.- ESPESORES RECOMENDADOS DE AISLAMIENTO DE SILICATO DE CALCIO

| Temperature of pipe, F | | | | | | | | | | | Temperature of pipe, F | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|--|
| Nominal pipe size, in. | 100-199 | 200-299 | 300-399 | 400-499 | 500-599 | 600-699 | 700-799 | 800-899 | 900-999 | 1000-1099 | 1100-1200 | Nominal pipe size, in. | 100-199 | 200-299 | 300-399 | 400-499 | 500-599 | 600-699 | 700-799 | 800-899 | 900-999 | 1000-1099 | 1100-1200 | |
| Nominal thickness | | | | | | | | | | | Nominal thickness, in. | | | | | | | | | | | | | |
| Utility—steam generation | | | | | | | | | | | Commercial—full year operation | | | | | | | | | | | | | |
| 1½ and less | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2 ¹ | 2½ | 2½ | 3½ | 3 | 3 | 3 | 1½ and less | 1 | 1½ | 2 | 2½ ¹ | 3 ¹ | | | | | | | |
| 2 | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2 ¹ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 2 | 1½ | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3 ¹ | | | | | | | |
| 2½ | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2 ¹ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 2½ | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3 ¹ | | | | | | | |
| 3 | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2 ¹ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 3 | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3 ¹ | | | | | | | |
| 3½ | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2½ ¹ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3½ | 3½ | 3½ | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3½ ¹ | | | | | | | |
| 4 | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | 2½ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 4 | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3½ ¹ | | | | | | | |
| 4½ | 1 | 1 | 1½ | 2 | 2½ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 4½ | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3½ ¹ | | | | | | | |
| 5 | 1 | 1½ | 1½ | 2 | 2½ | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3½ | 5 | 1 | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3½ ¹ | | | | | | | |
| 6 | 1 | 1½ | 2 | 2 | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 6 | 1 | 2 | 3 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 7 | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 7 | 1½ | 2 | 2 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 8 | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 8 | 1½ | 2 | 3 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 9 | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 9 | 1½ | 2½ | 3 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 10 | 1½ | 1½ | 2 | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 10 | 1½ | 2½ | 3 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 11 | 1½ | 1½ | 2 | 2½ | 2½ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 11 | 1½ | 2½ | 3 | 3½ ¹ | 4 ¹ | | | | | | | |
| 12 | 1½ | 1½ | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 12 | 1½ | 2½ | 3 | 3½ ¹ | 4 | | | | | | | |
| 14 and up | 1½ | 1½ | 2 | 2½ | 3 ¹ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3½ | 14 and up | 1½ | 2½ | 3½ | 4 ¹ | 4½ | | | | | | | |
| Process | | | | | | | | | | | Commercial—seasonal operation | | | | | | | | | | | | | |
| 1½ and less | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 1½ and less | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | | | | | | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | | | | | | | |
| 2½ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2½ | 1 | 1 | 1 | 1½ | 2 ¹ | | | | | | | |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 2 ¹ | | | | | | | |
| 3½ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 3½ | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 2 ¹ | | | | | | | |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 2 ¹ | | | | | | | |
| 4½ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 4½ | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 2 | | | | | | | |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 5 | 1 | 1 | 1½ | 1½ | 2 | | | | | | | |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1½ | 1 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 7 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 7 | 1 | 1 | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 8 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 8 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 9 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 9 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 10 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 10 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 11 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 11 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 12 | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 12 | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |
| 14 and up | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 14 and up | 1½ | 1½ | 1½ | 2 | 2 | | | | | | | |

¹ Available in single or double layer.