



## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

### TESIS

#### “ANÁLISIS TERMEOCONÓMICO DEL SISTEMA DE VACÍO DE LA TURBINA 60-C1-T DE LA PLANTA TRANSFORMADORA DE AROMÁTICOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO CANGREJERA”

Que para obtener el título de:

*Maestro en Ingeniería Energética*

Presenta:

*Ing. Fred Vicencia Osorio*

Asesor:

*Dr. Roberto Ramírez Mesa*



Minatitlán, Veracruz. Mayo de 2008



Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica  
 Dirección General de Educación Superior Tecnológica



SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN  
 SUPERIOR TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

Minatitlán, Ver., 30/Mayo /2008  
 DIV. DE EST. DE POSGRADO E INVEST.  
 OFICIO No. DEPI-TIT-051-2008

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS**

**ING. FRED VICENCIO OSORIO  
 PRESENTE**

Después de haber satisfecho los requisitos establecidos en el procedimiento académico para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería en los Institutos Tecnológicos, y de conformidad con el H. Comité Revisor, es grato autorizarle la impresión de su Tesis:

**"ANÁLISIS TERMOCÓNOMICO DEL SISTEMA DE VACÍO DE LA TURBINA 60-C1-T DE LA PLANTA TRANSFORMADORA DE AROMÁTICOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO CANGREJERA"**

ATENTAMENTE

M.C. MARCIA LORENA HERNÁNDEZ NIETO  
 JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
 E INVESTIGACIÓN



## **DEDICATORIA**

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme vivir este gran orgullo en mi vida, gracias señor por darme la oportunidad de sentir y ver que la felicidad y el éxito esta en uno, solo debemos encontrar el camino correcto.

A mis Padres por darme su confianza y enseñarme que en la vida debemos ser humildes y fuertes con las pruebas que nos da la vida. Gracias mamá por creer en mi, tal vez no soy el cadete que hubieses querido que fuera pero tratare, de que te sientas muy orgullosa de mi. A ti papá, por enseñarme que en la vida cometemos errores y pese a eso la vida siempre nos da una segunda oportunidad. Estoy muy orgullo de ustedes.

A mi hermana Alma Delia por ser una segunda madre para mí y con mis hermanos.

A ti Jaime por estar conmigo en todo momento y darnos el ejemplo de nunca darnos por vencido.

A ti Nancy por enseñarme la virtud de la sencillez y por tu gran corazón para apoyar a tus seres queridos y a las personas que te rodean.

A mi familia por darme la fuerza para seguir adelante y no darme por vencido nunca. Gracias Noemi por darme esa seguridad de sentir que siempre voy a contar con tu apoyo incondicional. A ti hijo por hacerme ver que la vida es lo mas sagrado que tenemos y que no debemos desperdiciar nuestro tiempo en cosas que no valgan la pena.

A todas las personas que me han enseñado cosas muy importantes en mi vida, en especial a Don Ricardo López Antonio al igual que a su amiga y compañera Noemi Antonio cruz, a la † Sra. Delia por esos buenos consejos, al Sr. Andrés por enseñarme lo importante de ser una buena persona y gracias a todas esas personas que la vida ha puesto en mi camino y que me han hecho ver mis errores.

## **AGRADECIMIENTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) que por su gestión y apoyo económico durante toda la maestría también fue posible culminar esta maestría de ingeniería energética.

Al Instituto tecnológico de Minatitlán por permitir la difusión de la ciencia y tecnología en las áreas que necesita el país para su desarrollo.

A mi asesor de tesis. Ya que sin su ayuda, apoyo y tolerancia esta culminación de tesis no hubiera sido posible. Sinceramente gracias Dr. Roberto Ramírez Mesa, de la misma manera agradezco su apoyo y enseñanzas a mis maestros:

Dr. Lázaro Valentín García Aguilar

M. C. Rene Yamamoto Arana

M. C. Andrés Álvarez Alvarado

M. C. Arturo Casados Mellado

A mis amigos y compañeros de clase por el apoyo incondicional en la colaboración de este proyecto de tesis. Especialmente al Ing. Miguel Angel Jiménez López por brindarme su amistad y confianza.

Al Ing. Jesús Hernández Bautista por su apoyo incondicional y permitirme colaborar dentro de su grupo de trabajo ya que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible.

Al Ing. Carlos Gabriel Hernández Cruz por confiar en mí al igual que el Ing. Jorge Alberto Guillen Ávila.

## **RESUMEN**

## RESUMEN

El presente trabajo permite conocer como está integrado energéticamente un sistema de vacío de una turbina de condensación, así mismo presenta una metodología para determinar los costos reales de operación de cada una de las corrientes que integran el proceso.

El estudio se fundamenta en el análisis energético, el análisis exergético y el análisis económico, que proporcionan los costos reales de operación. Muestra como se lleva a cabo la formación de los costos de operación de cada una de las corrientes a partir de los equipos que intervienen, considerando el costo de adquisición e instalación, el costo de mantenimiento y el costo de operación.

El resultado del estudio permite a la administración visualizar las áreas donde existe energía no aprovechada, cuales son las secciones ó áreas de un proceso donde existen los mayores costos operativos y así determinar el potencial de optimización del proceso.

Para el desarrollo del análisis energético y exergético del sistema de vacío se efectuó el balance de materia y energía, se determinaron las propiedades termodinámicas de cada una de las corrientes del sistema y con estos datos se utilizó la hoja de cálculo Excel para llevar a cabo los cálculos termoeconómicos.

El modelo está basado en los datos de diseño del sistema (flujos, presión, temperatura y composición), sin embargo, como el proceso se considera en estado estacionario, es posible analizar el sistema a condiciones actuales de operación, a fin de conocer su comportamiento y llevar día a día los costos de operación.



## **ABSTRACT**

## **ABSTRACT**

This work will be used to know how a vacuum system is energetically integrated and allow to estimating the operative cost of each process stream.

This study is supported on the energy analysis, the exergy analysis and the economic analysis that provide the actual operative cost of the system. It show how the operative cost is formed through the process considering the equipment that participate in each process stream and the acquisition cost, installation cost, operating and maintenance costs.

The results of this kind of study would show to the Administration of the plant the areas which has sub utilized energy, where the operative cost are high and determine the potential of process optimization.

The energy and exergy analysis of the system was development using the material and energy balance. In order to determine the thermodynamic properties of each stream and then utilize the worksheet Excel for the Thermoeconomic calculus.

The model was development with system design data (flow, pressure, temperature and composition) however, as the system is considered as steady state process, then is possible to analyze the system at present conditions in order to know the behavior and costs of the system day to day.

## ÍNDICE

## ÍNDICE

Contenido	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO</b>	
<b>CANGREJERA</b> .....	7
1.1 Antecedentes Históricos.....	7
1.2 Ubicación general y específica de la empresa Petroquímica Cangrejera.....	11
1.3 Organigrama de la Empresa.....	12
1.4 Giro de la Empresa.....	13
1.5 Misión Y Visión.....	13
1.6 Principios.....	14
1.7 Política de Calidad.....	14
1.8 Política de Seguridad, Salud y Protección Ambiental.....	14
1.9 Planta Transformadora de Aromáticos	14
<b>CAPITULO II. ANÁLISIS TEÓRICO DE SISTEMAS DE VACÍO A PARTIR DE</b>	
<b>TURBO-COMPRESORES</b> .....	17
2.1 Principio termodinámico de las turbinas de vapor.....	17
2.2 Análisis crítico de los tipos de eyectores aplicados a sistemas de vacío bajo normas ASME y ASTM.....	20
2. 3. Clasificación de eyectores.....	22
2.4 Conceptos y análisis de Energía y Exergía.....	23
2.4.1 Análisis de energía.....	23
2.4.2 Análisis de exergía.....	26
2.4.3 Diferentes tipos de Exergía.....	27
2.4.4 Costeo de la exergía.....	28
2.5 Análisis Económico.....	29
2.6 Análisis Termoeconómico.....	30
<b>CAPITULO III. METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA</b>	
<b>EVALUACIÓN TERMOCÓNOMICA DE UN SISTEMA DE VACÍO</b> .....	32
3.1 Información básica y de detalle para la evaluación termoeconómica del sistema de vacío.....	32

3.2 Caldera CB – 4.....	33
3.3 Válvula reductora de vapor de alta presión a vapor de media presión.....	36
3.4 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm <sup>2</sup> a vapor de alta presión variable (30 kg/cm <sup>2</sup> ).....	39
3.5 Turbina de vapor 60-C1-T acoplada al compresor 60-C-1.....	40
3.6 Compresor 60-C-1 acoplado a la turbina 60-C1-T.....	43
3.7 Condensador de Superficie.....	44
3.8 Bomba de condensado 60-P-6A acoplada a la turbina 60-T-6A. ....	46
3.9 Eyector de Arranque.....	47
<b>CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL CÁLCULO TERMEOCONÓMICO DEL SISTEMA DE VACÍO.....</b>	<b>50</b>
4.1 Resultados del análisis termoeconómico de la caldera de vapor de alta CB – 4.....	50
4.2 Resultados del análisis termoeconómico de las válvulas reductoras.....	52
4.2.1 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm <sup>2</sup> a vapor de media presión de 19.5 kg/cm <sup>2</sup> .....	52
4.2.2 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm <sup>2</sup> a vapor de alta presión variable.....	53
4.3 Resultados del análisis termoeconómico de la turbina de condensación 60-C1-T acoplada al compresor 60-C-1.....	54
4.4 Resultados del análisis termoeconómico del Compresor 60-C-1 acoplado a la turbina 60-C1-T.....	55
4.5 Resultados del análisis termoeconómico del condensador de superficie 60-E-6.....	56
4.6 Resultados del análisis termoeconómico de la turbina 60-T-6A acoplada a la bomba 60-P-6A. ....	57
4.7 Resultados del análisis termoeconómico de la bomba 60-P6-A acoplada a la turbina 60-T6-A .....	58
4.8 Resultados del análisis termoeconómico del eyector de arranque del sistema de vacío evaluado.....	59
4.9 Índices energéticos calculados para el sistema de vacío 60-C1-T.....	60

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	64
<b>NOMENCLATURA</b> .....	XIV
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	
Figura 1.1 Proceso de Desmineralización del Agua, almacenamiento y bombeo a distintas Plantas.....	10
Figura 1.2 Turbogenerador de la Planta Generación Eléctrica.....	11
Figura 1.3 Localización en la República Mexicana de Petroquímica Cangrejera.....	11
Figura 1.4 Localización en el Estado de Veracruz de Petroquímica Cangrejera.....	12
Figura 1.5 Organigrama de la empresa Petroquímica Cangrejera.....	12
Figura 1.6 Proceso de Isomerización de Xilenos.....	15
Figura 2.1 Ciclo de las turbinas de vapor.....	17
Figura 2.2 Diagrama T-S del ciclo termodinámico Rankine de las turbinas de vapor.....	18
Figura 2.3 Diagrama T-S del calor transferido al fluido de trabajo.....	18
Figura 2.4 Diagrama T-S del calor transferido desde el sistema.....	19
Figura 2.5 Diagrama T-S del trabajo neto realizado por el ciclo transferido al fluido de trabajo.....	19
Figura 2.6 Eyector a chorro de vapor.....	21
Figura 2.7 Sistema cerrado Térmico.....	24
Figura 2.8 Sistema Abierto Térmico.....	25
Figura 3.1 diagrama de flujo del sistema de vacío 60-C1-T.....	32
Figura 3.2 Caldera de vapor de 45 kg/cm <sup>2</sup> .....	33
Figura 3.3 Reducción de vapor de alta de 45 kg/cm <sup>2</sup> a vapor de media de 19.5kg/cm <sup>2</sup> .....	36
Figura 3.4 Reducción de vapor de alta de 45 kg/cm <sup>2</sup> a vapor de alta variable (30 kg/cm <sup>2</sup> ).....	39
Figura 3.5 acoplamiento del turbocompresor 60-C1-T.....	40
Figura 3.6 Diagrama h-s de la expansión de una turbina de condensación.....	41

Figura 3.7 Diagrama h-s de los procesos real e isentrópico de un compresor adiabático.....	43
Figura 3.8 Corrientes que intervienen en el condensador de superficie 60-E-6..	44
Figura 3.9 Corrientes y equipos que intervienen en la turbobomba 60-P6-TA....	46
Figura 3.10 Corrientes que integran el eyector de arranque del sistema de vacío evaluado.....	48

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla I. Variables de investigación.....	5
Tabla II. Intervalos típicos del vacío producido por lo diferentes arreglos de eyectores.....	21
Tabla III. Normas aplicadas a los eyectores de arranque y operación permanente.....	23
Tabla IV. Resultado termoeconómico de la turbina 60-C1-T.....	54
Tabla V. Resultado termoeconómico del compresor 60-C-1.....	55
Tabla VI. Resultado termoeconómico del condensador de superficie 60-E-6.....	56
Tabla VII. Resultado termoeconómico de la turbina 60-T-6A. ....	57
Tabla VIII. Resultado termoeconómico de la bomba 60-P6-A.....	58
Tabla IX, Resultado termoeconómico del eyector de arranque.....	59

## **ANEXOS**

Anexo 1. Hojas de especificaciones de la turbina de vapor 60-C1-T.....	67
Anexo 2. Hoja de Especificación del condensador de superficie 60-E-6.....	70
Anexo 3. Hojas de especificaciones de la turbina de vapor 60-T-6A. ....	71
Anexo 4. Hojas de especificaciones de la bomba 60-P-6A .....	73
Anexo 5. Hojas de especificaciones del compresor 60-C-1.....	75

## NOMENCLATURA

$C_p$	Calor específico a presión constante, kJ/(kg.K)
$C_v$	Calor específico a volumen constante, kJ/(kg.K)
$c$	Costo por unidad de exergía, \$/kJ
$C$	Costo del flujo de exergía, \$/seg
$e$	Exergía específica, kJ/kg
$E$	Flujo exergético, kJ/seg
$EP$	Exergía Producto, kJ/kg
$EF$	Exergía Combustible, kJ/kg
$F$	Costo actual del equipo, \$
$h_0$	Entalpía específica asociada al estado muerto, kJ/kg
$h$	Entalpía específica, kJ/kg
$i$	Tasa de inflación anual, %
$M$	Masa molecular, kg/kmol
$\dot{m}$	Flujo másico, kg/seg
$n$	Coefficiente de expansión real
$N$	Numero de moles, kmol
$P$	Costo del equipo en el pasado, \$
$P_0$	Presión asociada al estado muerto, kPa
$P_{abs}$	Presión absoluta, kPa
$P_{man}$	Presión manométrica, kPa
$P_{vac}$	Presión de vacío, mmHg
$P_c$	Presión crítica, Bar
$Q_{bc}$	Valor Calórico del Combustible, kJ/kg
$R$	Constante universal de los gases, kJ/kmol.K
$r_{ac}$	Relación de aire combustible, $\text{kg}_{\text{aire}}/\text{kg}_{\text{combustible}}$
$r_{gpc}$	Relación de gases productos de la combustión, $\text{kg}_{gpc}/\text{kg}_{\text{combustible}}$



$s$	Entropía, kJ/kg.K
$s_0$	Entropía asociada al estado muerto, kJ/kg.K
$t$	Numero anual de horas de operación, hr
$T$	Temperatura, °C o K
$T_0$	Temperatura asociada al estado muerto, °C o K
$T_c$	Temperatura critica, K
$U$	Energía interna, kJ/kg
$\dot{V}$	Flujo volumétrico, m <sup>3</sup> /seg
$x$	Calidad del vapor
$Z_k^{tot}$	Costo de capital de inversión total del elemento k, \$/hr
$Z_k^I$	Costo de capital de inversión del elemento k, \$/hr
$Z_k^{ope}$	Costo por operación y mantenimiento del elemento k, \$/hr
$Z_c$	Factor de compresibilidad

## LETRAS GRIEGAS

$\eta$	Eficiencia
$\nu$	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg
$\rho$	Densidad, kg/ m <sup>3</sup>
$\alpha$	Coficiente de exceso de aire
$\omega$	Factor acéntrico

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

La finalidad de esta evaluación termoeconómica es que en la planta transformadora de aromáticos del complejo petroquímico cangrejera se cuente con una herramienta de cálculo que permita evaluar los costos actuales de las corrientes que integran el sistema de vacío de la turbina 60-C1-T, debido a que el sistema de vacío fue construido en 1977 y por lo tanto tiene más de 30 años de antigüedad. Los sistemas fueron construidos para operar con vapor saturado a 65 psig ( $4.55 \text{ kg/cm}^2$ ) con eyectores de dos etapas con la idea de que se recuperara el vapor suministrado a los eyectores de dos etapas, se informó por parte del área usuaria que los sistemas de vacío de dos etapas nunca pudieron operar debido a que la presión de vapor del cabezal de baja fluctuaba mucho, por lo que se operó con el eyector de arranque, el cual está tirando todo el vapor a la atmósfera. Esta cantidad de vapor utilizado en el sistema de vacío es muy grande y esto representa un costo bastante elevado para el Complejo Petroquímico Cangrejera.

Lo anterior, resalta la importancia de contar con una evaluación termoeconómica actual del sistema de vacío dentro de la Planta Transformadora de Aromáticos.

El Impacto Ambiental del proyecto, trata de mejorar las condiciones ambientales del sector servicios auxiliares, preferentemente al sistema de vacío de la turbina 60-C1-T de la Planta Transformadora del Complejo Petroquímico Cangrejera.

Para lograr esto el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Energía implementa el programa de Energía y Medio Ambiente, en el que la Paraestatal PEMEX participa a través del Programa de Seguridad y Medio Ambiente.

En este Programa Nacional de Energía y Medio Ambiente se considera la disminución del impacto ambiental a través del uso eficiente de la energía. El análisis termoeconómico, basado en la segunda Ley de la Termodinámica, permite conocer como se utiliza la energía suministrada a un proceso, ya sea térmico o químico así como los costos de operación llevándonos a ver las áreas de oportunidad existentes para optimizar un sistema sin afectar la naturaleza del proceso. El análisis termoeconómico permite hacer un uso más eficiente de la energía en un proceso, y con ello, el consumo del combustible utilizado para proporcionar energía al sistema

disminuye, así como el flujo de los gases productos de la combustión y el efecto térmico al ambiente de los mismos disminuye. Actualmente en la industria química y petroquímica los costos de operación se obtienen a través de un balance de materia, un balance de energía y un balance económico, sin embargo este tipo de análisis no considera la exergía. Este problema se puede resolver a través de un análisis termoeconómico debido a que combina el análisis exergético, el análisis energético y el análisis económico. De esta forma es posible evaluar los costos de cada una de las corrientes involucradas en un proceso.

El análisis termoeconómico realizado en esta tesis de maestría en ingeniería energética tiene como objetivo general evaluar termoeconómicamente los costos de un sistema de vacío, en la Planta Transformadora de Aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera, considerando para esto los costos de los equipos, productos y combustibles.

Los objetivos específicos de esta evaluación son:

1. Realizar un Software que simule los costos termoeconómicos de las corrientes que integran el sistema de vacío
2. Calcular los índices energéticos asociados al sistema de vacío.
3. Determinar la eficiencia total del sistema de vacío de la turbina 60-C1-T

El problema científico que obedece este estudio es que actualmente en la Planta Transformadora de Aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera no se realizan evaluaciones termoeconómicas por lo que esto representa un área de oportunidad para determinar el potencial de trabajo que puede aprovecharse y optimizar el consumo de energía en el sistema. El beneficio que se obtiene de este trabajo es que la herramienta de cálculo desarrollada es aplicable a cualquier proceso industrial que trabaje bajo el mismo principio de operación. Para la evaluación de este estudio se tomaron datos flujos, presiones, temperaturas y composiciones de bitácoras, así como datos de diseño de los equipos y las corrientes que integran el sistema de vacío evaluado. El costo capital, los costos operativos y los costos de mantenimiento de los equipos se pueden obtener del sistema de costos de la empresa.

Preguntas de investigación:

¿Cuál es el costo por tonelada de vapor que se tira a la atmosfera por el uso del eyector de arranque del sistema de vacío de la turbina 60-C1-T de la Planta Transformadora de Aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera?

¿Cuál será el incremento del costo de Hidrogeno al ser comprimido por el uso de la turbina 60-C1-T de la Planta Transformadora de Aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera?

Hipótesis:

El precio de vapor de alta y de media que llega a la Planta Transformadora de Aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera sea mayor al precio manejado actualmente en la planta, una vez realizada la evaluación termoeconómica.

Durante el desarrollo de la evaluación termoeconómica del sistema de vacío de la turbina 60-C1-T se tendrán que considerar ciertas variables específicas, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla I. Variables de investigación

TABLA DE DECLARACIÓN DE VARIABLES DE INVESTIGACIÓN				
NOMBRE DE LA VARIABLE	DECLARACIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Incremento en el costo del hidrogeno al ser comprimido $\Delta\$=C_{20} - C_{19}$	Es el incremento que sufre el costo de hidrogeno dependiendo del costo de la potencia entregada por la turbina 60 C1 T	A través de datos de diseño y datos de bitácoras.	Variable dependiente, cuantitativa, dinámica, se mide en dólares	Ver tabla de resultados
Costo de la potencia generada en la turbina de vapor 60 C1 T US\$/kw	Es la relación del costo específico en dólares por los kilowatts mecánicos	A través de datos de diseño y datos de bitácoras.	Variable dependiente, cuantitativa, dinámica, se mide en dólares	Ver tabla de resultados
Eficiencia de todo el sistema $\eta = E_{\text{Producida}} / E_{\text{Consumida}}$	Se define como la cantidad de energía producida por el sistema entre la cantidad de energía que consume el sistema	A través de datos de diseño y datos de bitácoras.	Variable dependiente, cuantitativa, dinámica, se mide en porcentaje.	Ver tabla de resultados

# **CAPÍTULO I**

## CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO CANGREJERA

### 1.1 Antecedentes Históricos

El Complejo Petroquímico Cangrejera, se comenzó a construir en el año de 1973, fue creado con la finalidad de alcanzar la autosuficiencia en productos petroquímicos básicos y evitar así la fuga de divisas al exterior. Significa uno de los más ambiciosos proyectos que, dentro de la industria petroquímica, ha logrado cristalizar hasta la fecha el Gobierno Federal a través de Petróleos Mexicanos. Las actividades de operación de sus instalaciones iniciaron en 1980.

Petróleos Mexicanos se encuentra dividido en 5 empresas subsidiarias: PEMEX Exploración y Producción (**PEP**), PEMEX Refinación (**PREF**), PEMEX Gas y Petroquímica Básica (**PGPB**), PEMEX Petroquímica (**PPQ**) y Petróleos Mexicanos Internacional (**PMI**).

El complejo petroquímico “La Cangrejera” inicia sus actividades a mediados de 1981, con la puesta en operación del turbogenerador de Gas TG-5; a continuación, la caldera CB-4 es puesta en servicio y da comienzo la generación de vapor del área de Servicios Auxiliares.

#### Área de Servicios Auxiliares

Los Servicios Auxiliares de Petroquímica Cangrejera están integrados de la siguiente manera:

- 5 sistemas de agua de enfriamiento
  - Con una capacidad total 63,000 gpm
- 9 generadores de vapor
  - 5 de 225 ton/hr a 650 psig
  - 4 de 200 ton/hr a 850 psig
- 4 generadores eléctricos
  - 3 de 48 MW/hr a vapor
  - 1 de 18.5 MW/hr a gas

Además se cuenta con una subestación de respaldo de CFE de 16 MW/hr de capacidad.



**Planta Tratamiento de Aguas:**

La planta de tratamiento de agua es la que se encarga de satisfacer la demanda a las diferentes plantas del complejo tales como: calderas (generación de vapor), Etileno, Polietileno, Plantas Químicas; así como satisfacer la demanda de agua a la red de contra incendio. Actualmente la planta de tratamiento de agua cuenta con una capacidad de almacenamiento de  $15900\text{m}^3$  y de consumo de demanda diaria de  $16350\text{m}^3/\text{día}$ . La planta se compone de cuatro bloques principales las cuales son: Bocatoma, Pretratamiento, Vasos y Tratamiento de agua.

A continuación tenemos una breve descripción de cada una de los bloques en la que se compone la planta:

**Bocatoma:**

Se encarga de suministrar agua almacenada en vasos naturales hacia la captación de vasos. Toda esta agua que se extrae, es totalizada por un registrador de flujo para llevar el control de agua que se consume en el complejo.

**Vasos:**

Recibe bombeo de agua de bocatoma y este a su vez, lo almacena en vasos con capacidad de  $113,000\text{ m}^3$ , en la cual cuenta con cuatro vasos para poder cubrir las demandas. Esta agua se distribuye a la red de contra incendio y a la planta de tratamiento de agua.

**Pretratamiento:**

El funcionamiento de esta planta se basa en lo siguiente: Al agua de entrada se les adiciona un reactivo, el cual es capaz de separarlo con la ayuda de clarifloculadores, que son unos contenedores que en la parte del centro tienen un agitador. Estos, separan el lodo que lleve el agua; el lodo queda en la parte del centro, en la cual se le llama zona reactiva. En sus partes laterales se encuentra el agua limpia, que estas a su vez se mandan a unos filtros de arena para separar el lodo posible, y estas son mandadas a los diferentes sectores de la planta de tratamiento de agua.

**Tratamiento de agua:**

La planta tratamiento de aguas, es la que se encarga de desmineralizar el agua que es mandada a los contenedores. La desmineralización se lleva a cabo de la siguiente manera:

La planta cuenta con tres unidades en la cual se identifican por cationes, aniones y mixtas; cada una de ellas tienen una función las cuales se explican a continuación:

**Catión:** Esta unidad es la que se encarga de quitar la dureza del agua, esto lo hace con la ayuda de la resina y del ácido adicionado  $H_2SO_4$ . Aquí también se separan los lodos que traiga el agua.

**Anión:** Esta unidad recibe el agua que fue tratada en el catión y es la que se encarga de quitar la sílice. Con ayuda de la resina y la sosa adicionada se separan los lodos que pueda llevar el agua.

**Mixta:** Esta unidad se va a encargar de quitar todo tipo de impurezas que posiblemente dejaron ir las otras dos unidades (Catión y anión) y es la que se va a mantener un pH de 7 en la cual este es censado por un transmisor de pH.

Este proceso cuenta con la regeneración y retrolavado de sus unidades.

La regeneración se hace para restaurar la resina y para quitarle la saturación de impurezas, por lo que dichas impurezas se mandan a las fosas neutralizadoras para que posteriormente se recircule.

Mientras que el retrolavado extrae todas las impurezas, se mandan a un contenedor y esta agua es enviada a efluentes.

La función de los clarifloculadores es precipitar los lodos que contenga el agua. Esto lo hace con aditivos los cuales son el Sulfato de Aluminio y el Polielectrólito.

En total se tienen 15 unidades como el mostrado en la figura 1.1 (5 unidades aniónicas, 5 unidades catiónicas y unidades mixtas).

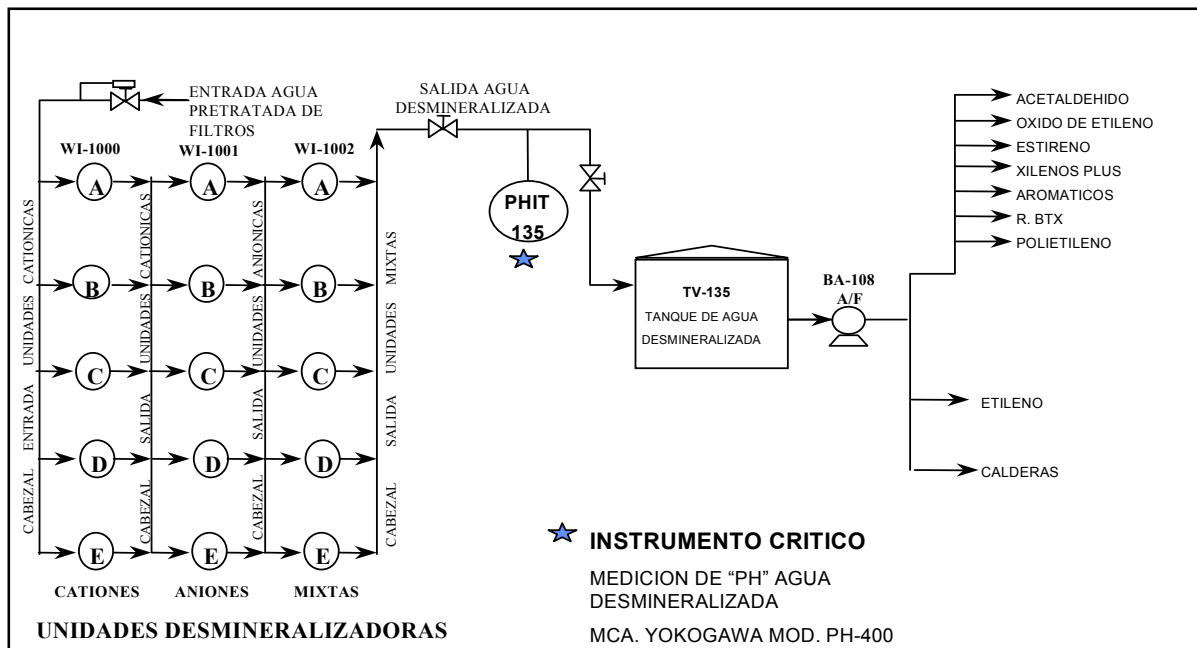


Figura 1.1 Proceso de Desmineralización del Agua, almacenamiento y bombeo a distintas Plantas.

## Planta Generación Vapor

Esta área consta de dos baterías de generadores de vapor, la primera esta formada por 5 generadores de vapor de baja presión ( $45 \text{ kg/cm}^2$ ), las cuales son utilizadas para abastecer de vapor a las plantas en donde su utilización es para el accionamiento de turbinas y para los diferentes procesos que se llevan a cabo. La segunda batería esta formada por 4 generadores de vapor de alta presión ( $66 \text{ kg/cm}^2$ ) y son utilizadas primordialmente para el accionamiento de turbinas acopladas a generadores de energía eléctrica.

## Generación Eléctrica

El área de generación eléctrica esta formada por 3 turbinas a Vapor que alimentan a 3 generadores, produciendo 48 MW cada uno de ellos, como el que se muestra en la figura 1.2 y un turbogenerador a gas que produce 18MW, haciendo una carga instalada de 162MW.



Figura 1.2 Turbogenerador de la Planta Generación Eléctrica

## 1.2 Ubicación general y específica de la empresa Petroquímica Cangrejera

El Complejo se ubica a 10 Km de la ciudad de Coatzacoalcos, sobre la carretera Coatzacoalcos – Villahermosa. A su paso se encuentra la Terminal Marítima Pajaritos y Complejo Petroquímico Morelos. En la figura 1.3 se muestra la localización de Petroquímica Cangrejera en la República Mexicana y en la figura 1.4 se muestra la localización de petroquímica Cangrejera en el estado de Veracruz.



Figura 1.3 Localización en la República Mexicana de Petroquímica Cangrejera



Figura 1.4 Localización en el Estado de Veracruz de Petroquímica Cangrejera.

### 1.3 Organigrama de la Empresa

En la Figura 1.5 se representa como esta organizada la empresa Petroquímica Cangrejera.

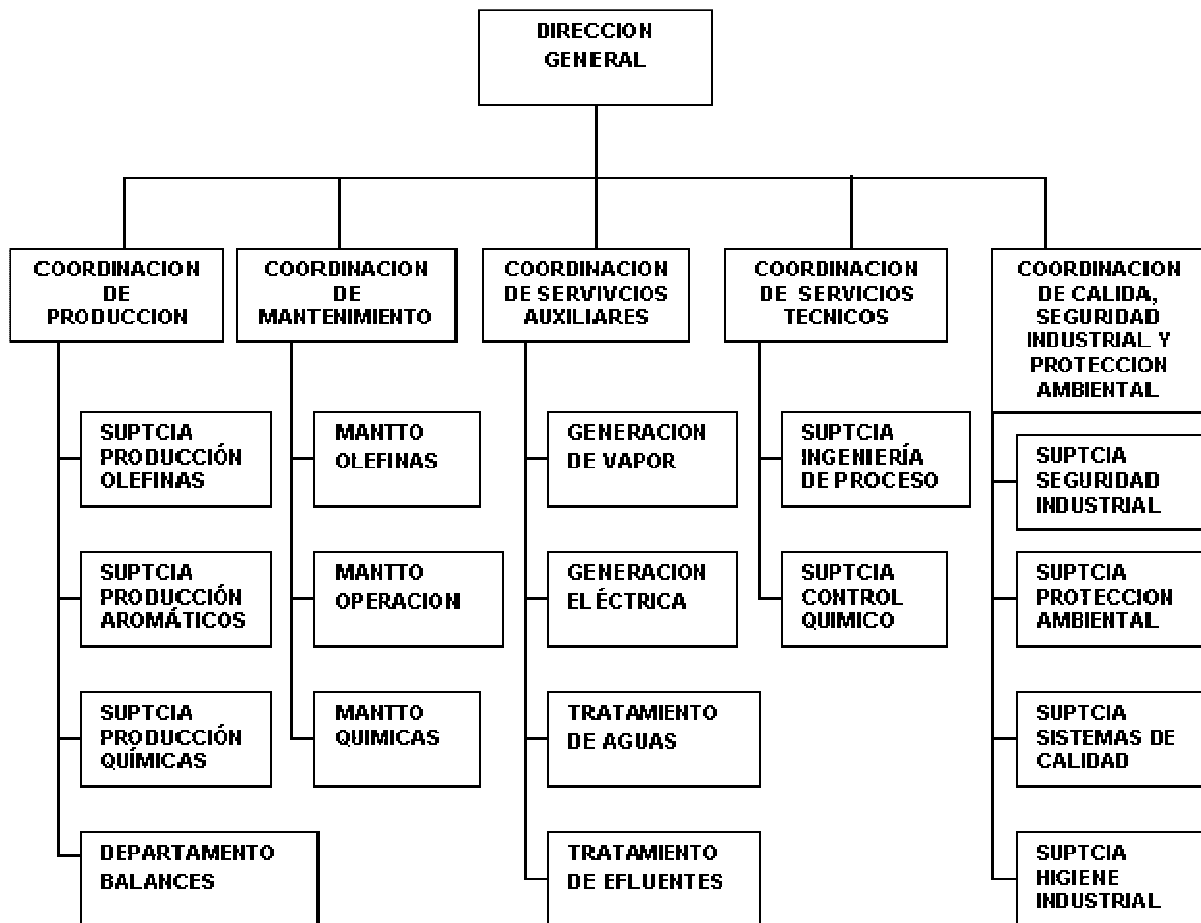


Figura 1.5 Organigrama de la empresa Petroquímica Cangrejera.

## 1.4 Giro de la Empresa

El decreto de la creación de Petroquímica Cangrejera, se publicó el 28 de Febrero de 1997 en el diario oficial de la federación, como resultado de la nueva estrategia para la Industria Petroquímica propuesta por el gobierno federal con el fin de promover e impulsar el desarrollo del sector Petroquímico. Se dio inicio al plan con la creación de 10 filiales como empresas de participación estatal mayoritaria, al menos en un 51 % y el resto de capital variable libre de suscripción, la estrategia consiste en privilegiar el objetivo de acelerar el ritmo de expansión de la capacidad productiva por medio del autofinanciamiento de las inversiones.

Este complejo, el mayor de su tipo en Latinoamérica, cuenta con planta cuya capacidad de producción se ubica a la altura de las más grandes del mundo. Cangrejera fue creado con la finalidad de alcanzar la autosuficiencia en la producción de productos Petroquímicos básicos y evitar así, la fuga de divisas al exterior.

La cangrejera constituye un gran polo de desarrollo industrial, que puede suministrar principalmente al mercado nacional y parte del internacional, los siguientes productos Petroquímicos básicos:

- Aromáticos Pesados
- Benceno
- Estireno
- Mezcla de Xileno
- Ortoxileno
- Oxido de Etileno
- Paraxileno
- Polietileno de Baja Densidad
- Tolueno, Edemas De Propano, Butano, Butileno, Pentano, Hexano y Nafta.

## 1.5 Misión Y Visión

### Misión

“Elaborar y comercializar productos Petroquímicos que garanticen la satisfacción de nuestros clientes, con el compromiso de mantener y mejorar la cultura de seguridad industrial y protección ambiental, buscando generar el máximo valor económico a largo plazo con los activos y personal que la conforman”

## **Visión**

“Consolidarnos como una empresa competitiva y líder de la Industria Petroquímica nacional, reconocida por la calidad de sus productos, poseedora de una arraigada cultura de servicio al cliente y comprometida con el fortalecimiento de la cultura de seguridad industrial y protección ambiental”

## **1.6 Principios**

La seguridad, salud y protección ambiental son valores con igual prioridad que la producción, el transporte, las ventas, la calidad y los costos.

## **1.7 Política de Calidad**

Satisfacer los requisitos acordados con nuestros clientes, cuidando el medio ambiente, la integridad física de las instalaciones, el desarrollo y salud del personal, con una actuación ética, transparente y de mejora continua.

## **1.8 Política de Seguridad, Salud y Protección Ambiental**

Ser una empresa eficiente y comprometida que se distinga por el esfuerzo y compromiso de sus trabajadores con la seguridad, salud y protección ambiental.

## **1.9 Planta Transformadora de Aromáticos**

La Planta Transformadora de Aromáticos “Área 14”, consta de cuatro unidades de proceso independientes de cada una y una unidad de servicios auxiliares.

Unidades:

- Isomerización de Xilenos U-60
- Xilenos Plus U-70
- Hidrodealquiladora de Tolueno U-80
- Purificadora de Hidrogeno U-90

En la unidad 60 que respecta al proceso isomerización de Xilenos es donde interviene el sistema de vacío evaluado en este proyecto. En la figura 1.6 se muestra de manera general como esta integrado este proceso. El objetivo de esta unidad es aumentar el contenido de Paraxileno a una mezcla de licor madre (mezcla de Xilenos pobre en Paraxileno) procedentes de la Planta de Cristalización de Paraxileno U-50.

Para lograr esto, se utiliza el proceso “Octafining”, el cual implica la isomerización del Etilbenceno y Metaxileno a Paraxileno.

La reacción se lleva a cabo en un reactor de lecho fijo, utilizando un catalizador de platino-sílice en base zeolítica (Z-771A), sometido a temperaturas y presiones altas en presencia de hidrógeno.

La unidad 60 es una de las unidades que integran el tren de aromáticos del Complejo Petroquímico Cangrejera. Esta Unidad inició sus operaciones el 12 de noviembre de 1982, para una capacidad de 43,250 Bls/día, siendo la Ingeniería de Detalle por la Compañía Fluor Engineers and Constructors, Inc y la Ingeniería Básica por la Compañía The Pace Company Consultants and Engineers, Inc.

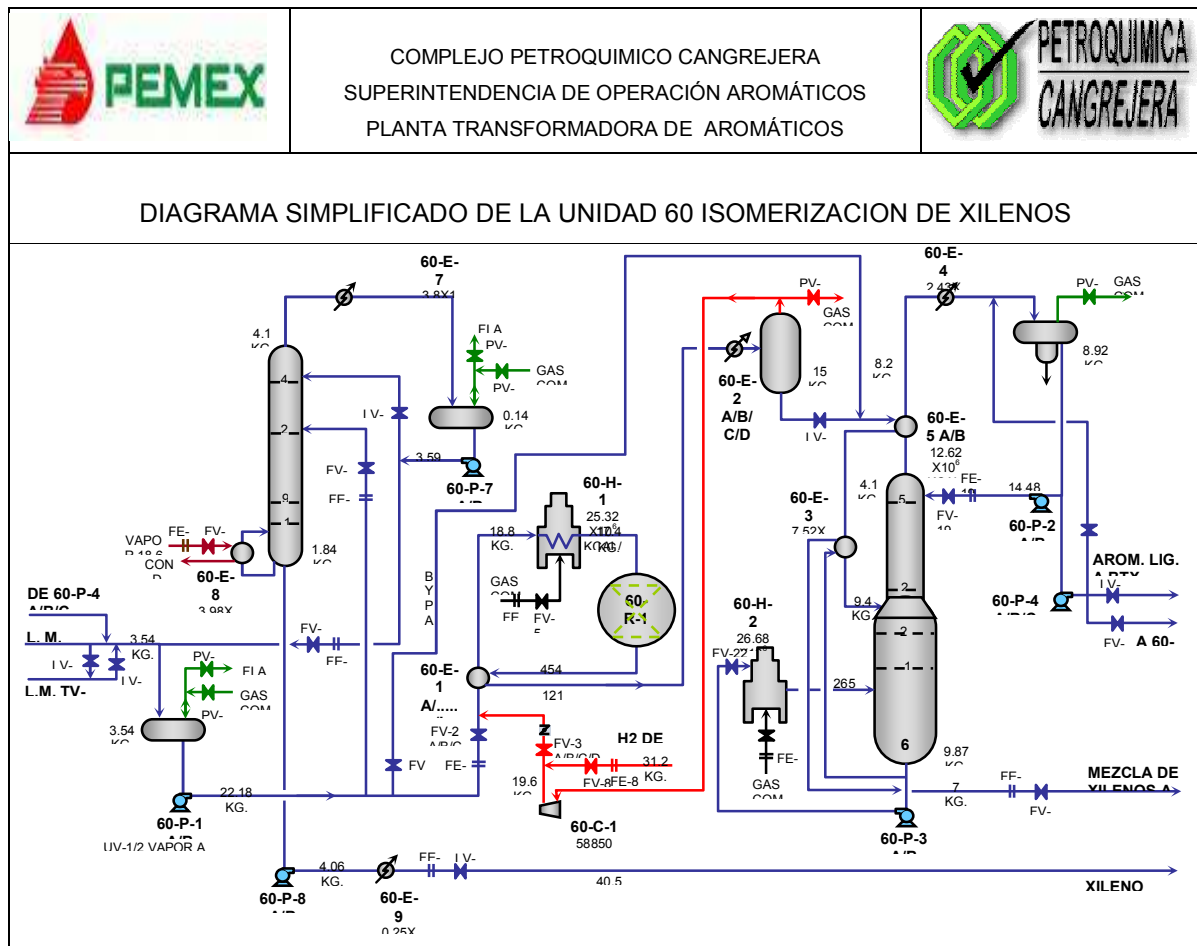


Figura 1.6 Proceso de Isomerización de Xilenos



## **CAPÍTULO II**

## CAPÍTULO II. ANÁLISIS TEÓRICO DE SISTEMAS DE VACÍO A PARTIR DE TURBO-COMPRESORES

### 2.1 Principio termodinámico de las turbinas de vapor

El principio de funcionamiento de las turbinas de vapor tiene su fundamento en el ciclo termodinámico conocido como Ciclo Rankine, al final del cual el fluido de trabajo retorna a su estado y composición inicial. En la figura 2.1 se muestra el ciclo de las turbinas de vapor.

Cuatro procesos se distinguen en un Ciclo Rankine ideal:

1-2. Proceso de bombeo adiabático y reversible

2-3. Transferencia de calor al fluido de trabajo en una caldera a presión constante.

3-4. Expansión adiabática y reversible del fluido en la turbina.

4-1. Transferencia de calor desde el fluido de trabajo a presión constante en el condensador.

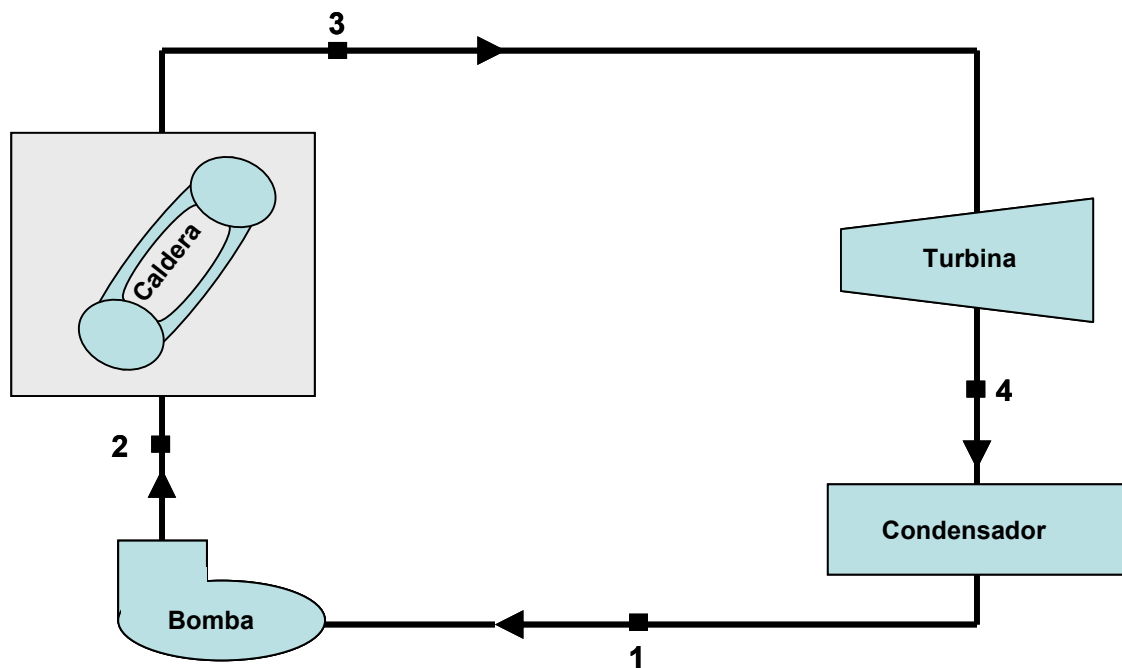


Figura 2.1 Ciclo de las turbinas de vapor

En la figura 2.2 se muestra el ciclo termodinámico Rankine de las turbinas de vapor.

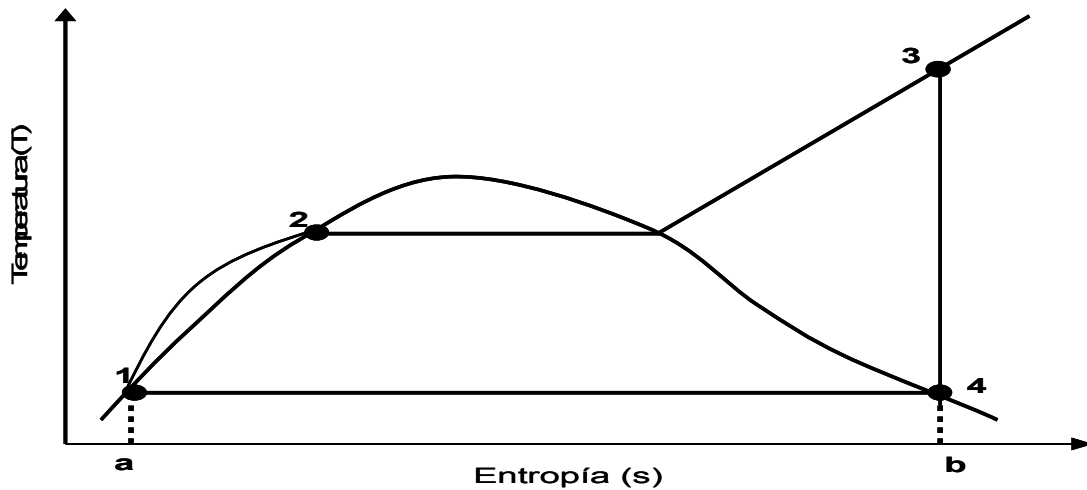


Figura 2.2 Diagrama T-S del ciclo termodinámico Rankine de las turbinas de vapor

Si los cambios en la energía cinética y potencial (presión y temperatura) del fluido de trabajo no son considerados, el calor transferido y el trabajo pueden representarse por áreas en el diagrama.

En la figura 2.3 se muestra el área comprendida por los puntos a-1-2-3-b-a, en donde el área representa el calor transferido al fluido de trabajo.

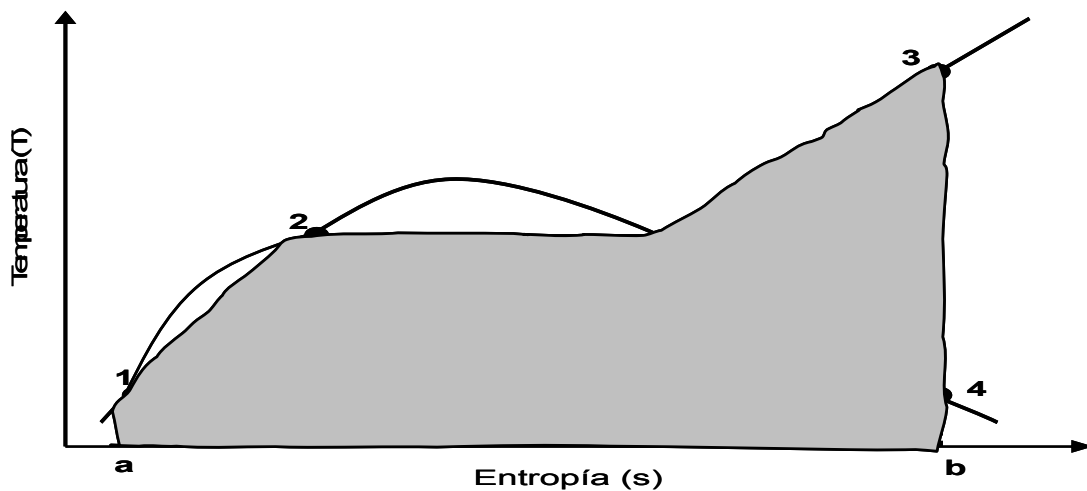


Figura 2.3 Diagrama T-S del calor transferido al fluido de trabajo

En la figura 2.4 se representa el área comprendida por los puntos a-1-4-b-a, la cual representa el calor transferido desde el sistema (Condensación).

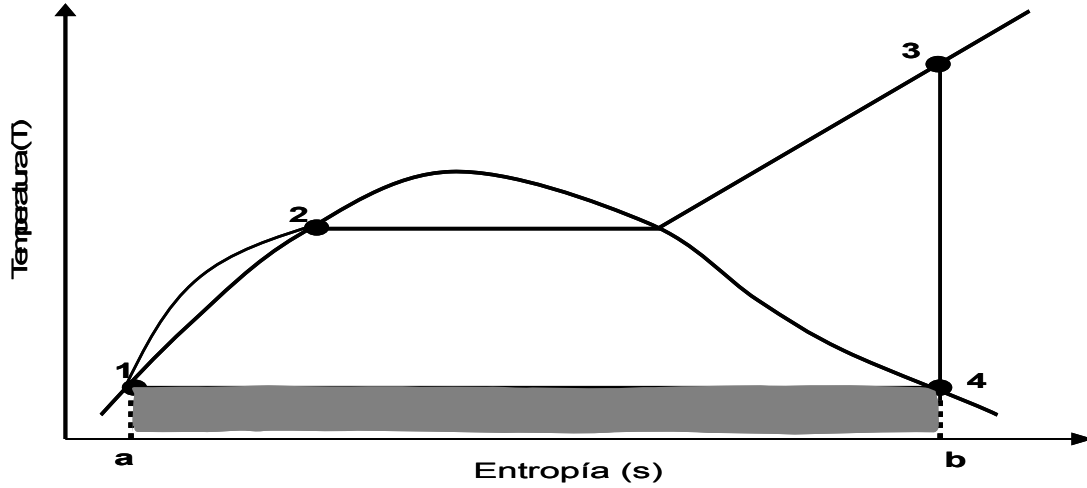


Figura 2.4 Diagrama T-S del calor transferido desde el sistema.

El trabajo neto realizado está representado por el área comprendida por los puntos 1-2-3-4-1 a continuación se muestra en la figura 2.5 el trabajo neto realizado.

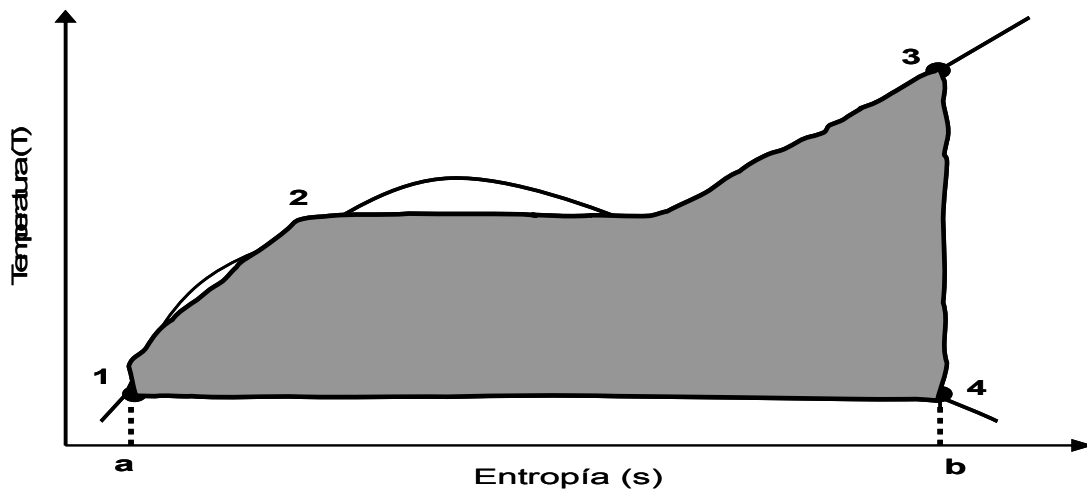


Figura 2.5 Diagrama T-S del trabajo neto realizado por el ciclo transferido al fluido de trabajo

Se Puede decir que la eficiencia de un Ciclo Rankine puede incrementarse disminuyendo la presión de salida de la turbina (presión de operación del condensador), aumentando la presión durante la adición de calor al fluido de trabajo y sobrecalentando el vapor<sup>5</sup>

## **2.2 Análisis crítico de los tipos de eyectores aplicados a sistemas de vacío bajo normas ASME y ASTM.**

### **Eyectores**

Ordinariamente cuando uno se refiere a los aparatos de chorro se acostumbra usar el término “eyector” que cubre todos los tipos de bombas de chorro que no cuentan con partes móviles, que utilizan fluidos en movimiento bajo condiciones controladas y que descargan a una presión intermedia entre las presiones del fluido motor y de succión.

El eyector a chorro de vapor es el aparato más simple que hay para extraer el aire, gases o vapores de los condensadores y de los equipos que operan a vacío en los procesos industriales. Es un tipo simplificado de bomba de vacío o compresor, sin partes móviles, como válvulas, pistones, rotores, etc. Su funcionamiento está dado por el principio de conservación de la cantidad de movimiento de las corrientes involucradas.

Los eyectores o bombas de chorros, son máquinas cuyo trabajo se basa en la transmisión de energía por impacto de un chorro fluido a gran velocidad, contra otro fluido en movimiento o en reposo, para proporcionar una mezcla de fluido a una velocidad moderadamente elevada, que luego disminuye hasta obtener una presión final mayor que la inicial del fluido de menor velocidad.

Los eyectores se emplean muy comúnmente para extraer gases de los espacios donde se hace vacío, por ejemplo, en los condensadores, en los sistemas de evaporación, en torres de destilación al vacío y en los sistemas de refrigeración, donde los gases extraídos son generalmente incondensables, tales como el aire. Aunque también se usan en el mezclado de corrientes como por ejemplo en los procesos de sulfitación en ingenios azucareros <sup>15</sup>.

Los intervalos típicos del vacío producido por lo diferentes arreglos de eyectores se presenta en la tabla II.

Tabla II. Intervalos típicos del vacío producido por lo diferentes arreglos de eyectores

Vacío que es capaz de proporcionar		Tipo de arreglo de eyectores
In. Hg	mm Hg	
26	66	un eyector de una etapa
29.3	74.4	un eyector de dos etapas
29.9	75.95	un eyector de tres etapas

Un eyector no es más que una combinación de tobera con un difusor, acoplado convenientemente en un mismo equipo, como se muestra en la figura 2.6

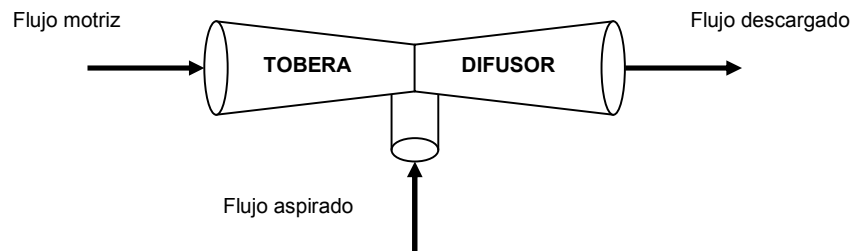


Figura 2.6 Eyector a chorro de vapor

La tobera permite la expansión de la corriente o fluido motriz (también llamado primario o actuante) hasta un estado con alta velocidad. La cámara de eyección incluye la sección de entrada de la corriente o fluido eyectado (también llamado secundario); en esta cámara, el fluido eyectado es arrastrado por el fluido motriz. La cámara de mezcla permite el mezclado íntimo entre los fluidos motriz y eyectado, lo que implica la aceleración del fluido eyectado y la desaceleración del fluido mezclado (mezcla del motriz y el eyectado), con el consiguiente aumento de presión.

De acuerdo al fluido motriz el eyector, se denomina: de vapor, cuando lo que circula por su interior es vapor de agua o hidráulico, cuando su fluido motriz es agua.

Los cálculos para el diseño de un eyector son engorrosos (ocurren tres procesos distintos: expansión, compresión y mezclado, por lo que hay métodos específicos para cada tipo de eyector), el mismo consiste en determinar las longitudes de la tobera, el difusor y la cámara de mezcla, así como las áreas de flujo y sus ángulos. Una vez diseñado el equipo, el mismo debe operar a las condiciones

estacionarias para las cuales se diseñó y el cálculo fundamental es el del coeficiente de eyección o relación de arrastre:

Coeficiente de eyección = flujo motor / flujo arrastrado

Con el objetivo de aumentar la capacidad de arrastre del eyector y disminuir la presión en la succión, se pueden utilizar sistemas de eyectores, en cuyo caso entre eyector y eyector se acopla un condensador barométrico.

### **Ventajas**

Son de diseño simple con gran flexibilidad, fáciles de construir, ocupan poco espacio, son fáciles de manejar, confiables.

Su costo de mantenimiento (no necesita lubricación, ni se desgasta) es bajo, no tienen partes móviles como válvulas, pistones, rotores, etc. y las sustituciones de piezas o partes son poco frecuentes (los más comunes son de toberas de acero inoxidable y de cámara y difusor de hierro fundido, los materiales cambian según su uso), y bajo costo de servicio o operación. No necesita cimentación y puede ser sujetado conectando las tuberías.

### **Desventajas**

Su costo operacional es relativamente alto debido al consumo de fluido motor, generalmente vapor. Sobre base anual el costo de operación es generalmente mayor que el costo inicial del equipo, de aquí que su rendimiento económico sea bajo. Tienen una baja eficacia mecánica y falta de flexibilidad para las variaciones de las condiciones de operación.

## **2. 3. Clasificación de eyectores**

De acuerdo con las condiciones mantenidas en la cámara de mezcla se clasifican en dos tipos, de sección que permite mantener la presión constante y con sección de área constante. Dadas sus ventajosas características de construcción, operación, instalación, mantenimiento y costo, las bombas de chorro han encontrado una vasta aplicación en la industria, desarrollándose constantemente nuevos usos para los mismos.

Esta variedad de aplicaciones ha originado a su vez una nueva terminología que describe grupos de aparatos con características específicas como sigue:

**Eyector:** Cubre todos los tipos de bombas de chorro descargando a una presión entre las presiones motriz y de succión.

**Inyector:** Usa un gas condensable para introducir o aspirar un líquido y descargar contra una presión mayor que cualquiera de las de succión o motriz. En la actualidad está restringido a los alimentadores de las calderas de vapor.

**Sifón:** Es una bomba de chorro para líquido que usa vapor como fluido motriz.

Tabla III. Normas aplicadas a los eyectores de arranque y operación permanente.

<b>Componente</b>	<b>Material</b>	<b>Norma</b>
- Cámara de vapor	Acero al carbón	ASME SA105/SA516-70
- Cámara de Succión	Hierro Nodular	Y ASTM A108-GR.1018
- Tobera	Acero inoxidable	ASTM A536-GR. 65-18-12
- Difusor	Hierro Nodular	ASME SA-479-TP316
		ASTM A536-GR. 65-18-12

## 2.4 Conceptos y análisis de Energía y Exergía.

### 2.4.1 Análisis de energía

Energía es una magnitud física abstracta ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo. También se puede definir la energía de sistemas abiertos, es decir, partes no aisladas entre sí de un sistema cerrado mayor. Un enunciado clásico de la física newtoniana dice que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma (primera ley de la termodinámica). Se puede manifestar en forma de movimiento (cinética), de posición (potencial), de calor, de electricidad, de radiaciones electromagnéticas, etc. Según sea el proceso se puede denominar energía térmica, eléctrica, radiante, química y nuclear.



La energía térmica, se debe al movimiento de las partículas que constituyen la materia. Un cuerpo a baja temperatura tendrá menos energía térmica que otro que este a mayor temperatura.

La transferencia de un cuerpo debido a una diferencia de temperatura se denomina calor.

Cuando hablamos de un sistema cerrado (también conocido como masa de control) que cambia desde un estado inicial 1 a un estado final 2, la primera ley de la termodinámica nos dice que:

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = U_1 - U_2 \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_{1-2}$  = Calor neto suministrado desde el estado 1 al estado 2, kJ

$W_{1-2}$  = Trabajo obtenido desde el estado 1 al estado 2, kW

$U_1$  = Energía térmica en el estado 1, kJ

$U_2$  = Energía térmica en el estado 2, kJ

En la figura 2.7 se muestra térmicamente un sistema cerrado de acuerdo a la primera ley de la termodinámica. El cual nos dice que la masa no puede cruzar sus fronteras, pero la energía sí<sup>3</sup>.

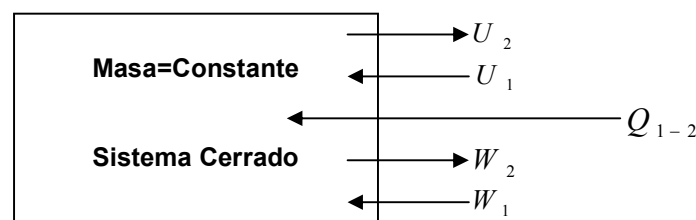


Figura 2.7 Sistema cerrado Térmico

En un sistema abierto (también conocido como volumen de control) tanto la masa como la energía pueden cruzar las fronteras de un volumen de control.

En la figura 2.8 se ilustra como es el comportamiento térmico de un sistema abierto.

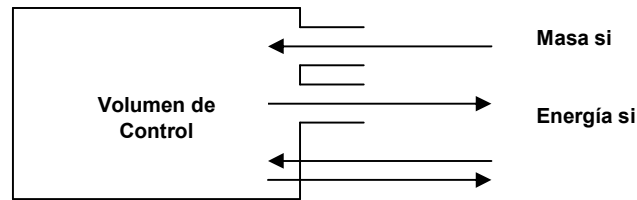


Figura 2.8 Sistema Abierto Térmico

De acuerdo a la primera ley de la termodinámica un sistema abierto se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$Q + [m(P_1v_1 + U_1)] = [m(P_2v_2 + U_2)] + W_t \quad (2.2)$$

Donde:

$Q$  = Es la energía en forma de calor, kJ

$m$  = Es la masa que entran y sale del sistema, la cual permanece constante debido a la conservación de la masa, kg

$Pv$  = Es el trabajo externo que desarrollan los alrededores del sistema, kW

$U$  = Es la energía interna específica de la masa que entra y sale del sistema, kJ

$W_t$  = Es el trabajo desarrollado por el sistema y puede ser trabajo mecánico, kW

La combinación de  $U + Pv$  se define como la entalpía. El uso de la propiedad entalpía se debe al profesor Richard Mollier, quien descubrió la importancia de esta propiedad en el análisis de turbinas de vapor de forma tabular y grafica (diagrama de Mollier). Dicha propiedad se puede expresar mediante la siguiente ecuación <sup>3</sup>:

$$h = u + Pv \quad (2.3)$$

En la segunda ley de la termodinámica se dice que los procesos térmicos suceden en cierta dirección y que la energía tiene calidad como cantidad. Los procesos toman su curso en cierta dirección y no en la dirección inversa. La primera ley de la termodinámica no restringe la dirección de un proceso, pero satisfacerla no asegura que el proceso ocurrirá realmente. Esta incapacidad de la primera ley de identificar si un proceso puede llevarse a cabo es remediado al introducir otro principio general, la segunda ley de la termodinámica. Esta violación se detecta

fácilmente con la ayuda de una propiedad, llamada entropía. La segunda ley de la termodinámica se puede definir por el enunciado de Kelvin-Planck, el cual expresa: “Que ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia térmica del 100 por ciento”, o para que una central de potencia opere, el fluido de trabajo debe intercambiar calor con el ambiente así como con el horno. El cambio de entropía de un sistema durante un proceso se determina al integrar la ecuación 2.4 entre los estados inicial y final <sup>4</sup>.

$$dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{internamente-reversible}} \quad (2.4)$$

Dando como resultado la ecuación 2.5

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{internamente-reversible}} \quad (2.5)$$

En realidad se ha definido el cambio de entropía en vez de la entropía misma. Los valores absolutos de la entropía se determinan con base a la tercera ley de la termodinámica, la cual nos habla mas que nada, de que es posible asignarle el valor cero a la entropía de una sustancia en un estado de referencia seleccionado arbitrariamente, los valores de la entropía en otros estados se determinan por la ecuación 2.5, y se elige el estado 1 como el de referencia ( $S=0$ ), y el estado 2 como el estado en el cual se va a determinar la entropía.

La tercera ley de la termodinámica se puede definir como la Exergía, la cual nos habla del estado muerto (estado de referencia dado el ambiente del lugar, conocido también como estado muerto), y el estado en el cual se va a determinar la exergía<sup>4</sup>.

### 2.4.2 Análisis de exergía

Exergía es el máximo trabajo útil de una corriente de energía bajo las condiciones impuestas por un ambiente dado. La exergía de una corriente de energía es una propiedad termodinámica que depende tanto del estado de la

corriente considerada y del estado de ambiente y expresa la máxima capacidad de la corriente para causar cambios (Producir trabajo). La destrucción de exergía es el resultado de las irreversibilidades del sistema. La exergía perdida es la exergía asociada al material o corriente de energía regresada al ambiente (Gases de combustión, agua de enfriamiento y calor perdido). La exergía de una corriente puede determinarse por la ecuación 2.6 entre el estado muerto y el estado en el que se va a determinar la exergía y el flujo exergético se puede determinar por la ecuación 2.7 <sup>12</sup>.

$$e = (h_f - h_0) + T_0(S_f - S_0) \quad (2.6)$$

$$E = e * m \quad (2.7)$$

Donde:

$e$  = Exergía específica, kJ/kg

$h_f$  = Entalpía del fluido, kJ/kg

$h_0$  = Entalpía de referencia, kJ/kg

$S_f$  = Entalpía del fluido, kJ/kgK

$S_0$  = Entalpía de referencia, kJ/kgK

$T_0$  = Temperatura de referencia, K

$\dot{m}$  = Flujo másico, kg/seg

$E$  = Flujo exergético, kJ/seg

### 2.4.3 Diferentes tipos de Exergía

La exergía total de un proceso térmico puede estar dada por 4 exergías, las cuales son las siguientes:

- Exergía física ( $E_{PH}$ )
- Exergía térmica ( $E_T$ )
- Exergía mecánica ( $E_M$ )
- Exergía química ( $E_{CH}$ ).

Dando como resultado que la exergía total esta dada por la ecuación 2.8

$$E_T = E_{PH} + E_T + E_M + E_{CH} \quad (2.8)$$

Respecto a la eficiencia exergética de algún equipo térmico la ecuación 2.9 expresa de manera general como se puede determinar esta eficiencia.

$$E = \frac{E_p}{E_F} = 1 - \frac{(E_d - E_l)}{E_F} \quad (2.9)$$

Donde:

$E_p$  = Exergía del producto

$E_F$  = Exergía del combustible

$E_d$  = Exergía destruida

$E_l$  = Exergía perdida

#### 2.4.4 Costeo de la exergía

El análisis de exergía produce información para la evaluación de un sistema de energía desde el punto de vista termodinámico. Sin embargo, se necesita saber el costo de la destrucción de exergía para determinar el costo de las corrientes térmicas. El conocer el costo de la exergía perdida y destruida es útil para mejorar la efectividad de costos de la planta, así como también visualizar las áreas de oportunidad para ver que corrientes están desperdiciando exergía y de esa manera desarrollar evaluaciones termoeconómicas para proponer mejoras en la planta evaluada. Este costo se puede realizar con las ecuaciones 2.10 y 2.11 <sup>1</sup>.

$$C = c * E \quad (2.10)$$

Donde:

$C$  = Costo del flujo de exergía, US\$/seg

$c$  = Costo por unidad de exergía, US\$/kJ

$E$  = Flujo de exergía, kJ/seg

$$C = c * e * \dot{m} \quad (2.11)$$

Donde:

$e$  = Exergía específica, kJ/kg

$\dot{m}$  = Flujo másico, kg/seg

## 2.5 Análisis Económico

El análisis económico, conducido como parte del análisis termoeconómico, provee los costos asociados con la inversión, operación (excluyendo los combustibles), mantenimiento y costo de los combustibles del sistema bajo análisis. Estos costos son usados en el balance de costos. En la mayoría de los análisis termoeconómicos es suficiente usar los costos promedio.

La diferencia mayor entre un análisis económico convencional y un análisis económico conducido como parte de un análisis termoeconómico es que este último es hecho a nivel de cada componente de la planta y provee el valor a ser usado en el balance de costos de cada componente. Por lo tanto del presupuesto de inversión y operación se requiere segregar la inversión correspondiente a cada elemento de la planta. Es necesario conocer, también, el tiempo de operación de cada componente en horas o segundos. Con el valor de la inversión y costo de operación de cada componente (sin incluir combustible) se calcula el costo de capital asociado a cada elemento.

Estos costos se pueden calcular mediante las ecuaciones 2.12, 2.13 y 2.14

$$Z_k^{tot} = Z_k^I + Z_k^{op} \quad (2.12)$$

Donde:

$Z_k^{tot}$  = Costo de capital de inversión total del elemento k, US\$/hr

$Z_k^I$  = Costo de capital de inversión del elemento k, US\$/hr

$Z_k^{op}$  = Costo por operación y mantenimiento del elemento k, US\$/hr

$$Z_k^I = k_k^I / t \quad (2.13)$$

Donde:

$k_k^I$  = Capital invertido en el elemento k, US\$

$t$  = Numero anual de horas de operación anual

$$Z_k^{op} = k_k^{op} / t \quad (2.14)$$

Donde:

$k_k^{op}$  = Capital invertido de operación y mantenimiento por elemento k, US\$

$t$  = Numero anual de horas de operación anual

## 2.6 Análisis Termoeconómico

Este análisis reúne los cálculos hechos en la evaluación de la exergía, el análisis económico, el costeo de la exergía y determina el costo de las corrientes en cada elemento del sistema energético evaluado <sup>1</sup>.

La termoeconomía permite:

- Calcular separadamente los costos de cada producto, en un sistema que tenga varios productos.
- Comprender la formación de costos de cada proceso y el del sistema térmico.
- Optimizar variables en un sistema térmico simple.
- Optimizar todo el sistema térmico.

Una vez realizadas las evaluaciones exergéticas y económicas de las corrientes que integran el sistema evaluado, podemos determinar el costo real de las corrientes que integran dicho sistema por medio de la ecuación 2.15

Esta ecuación es un balance de costos de las corrientes que intervienen en el sistema evaluado y el costo capital total del elemento k (equipo).

$$C_{salidas} = C_{entradas} + Z_k^{tot} \quad (2.15)$$

Donde:

$C_{entradas}$  = Costo de las corrientes de entrada, US\$/hr

$C_{salidas}$  = Costo de las corrientes de salida, US\$/hr

$Z_k^{tot}$  = Costo de capital de inversión total del elemento k, US\$/hr

## **CAPÍTULO III**





### 3.2 Caldera CB - 4

En esta evaluación es importante resaltar que se realizó el cálculo termoeconómico de una de las calderas que produce vapor de alta ( $45 \text{ kg/cm}^2$ ) y vapor de media ( $19.5 \text{ kg/cm}^2$ ) del sector Servicios Auxiliares del Complejo Petroquímica Cangrejera; ya que el sistema de vacío evaluado, opera con equipos que dependen de este combustible. Dicho análisis se llevó a cabo con toda la información necesaria para que los costos del vapor fueran los mas reales posibles.

En la figura 3.2 se presenta el esquema térmico de una de las calderas de baja que produce vapor de  $45 \text{ kg/cm}^2$ , es importante mencionar que el vapor de media de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  generado en el Sector Servicios Auxiliares del C. P. C se produce a través de válvulas reductoras instaladas sobre el cabezal de vapor de alta de  $45 \text{ kg/cm}^2$  y debido a que el sistema de vacío de la turbina 60-C1-T de la planta Transformadora de Aromáticos opera con vapor de media, también, fue necesario realizar la evaluación termoeconómica de esta reducción de vapor.

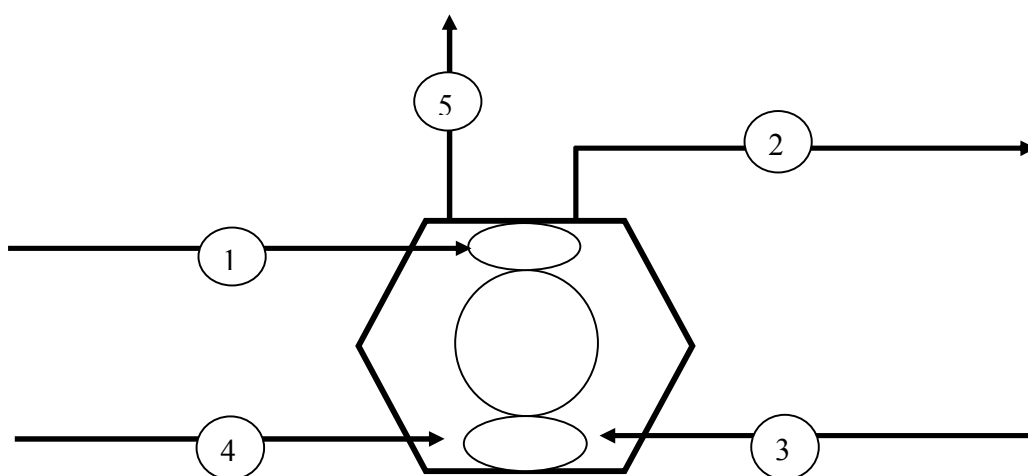


Figura 3.2 Caldera de vapor de  $45 \text{ kg/cm}^2$

A continuación se describen las corrientes que integran la caldera que genera vapor de alta de  $45 \text{ kg/cm}^2$  del Sector Servicios auxiliares dentro del Complejo Petroquímico Cangrejera:

- Corriente 1: entrada de agua desmineralizada de la caldera CB-4

- Corriente 2: salida de vapor de 45 kg/cm<sup>2</sup> generado en la caldera CB-4
- Corriente 3: entrada de gas combustible en la caldera CB-4
- Corriente 4: entrada de Aire de la atmosfera a la caldera CB-4
- Corriente 5: Salida de los gases productos de la combustión

Dentro de la evaluación de la caldera, es importante mencionar que para la evaluación de este equipo térmico se realizaron balances de materia y energía, así como también balances estequiométricos teóricos y reales con la finalidad de conocer los flujos reales que intervienen en esta caldera.

Balance de materia:

$$m_{agua} = m_{vapor} \quad (3.1)$$

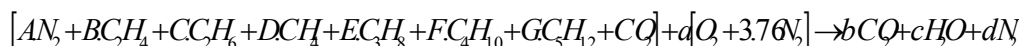
$$m_{comb} + m_{aire} = m_{gpc} \quad (3.2)$$

Balance de energía:

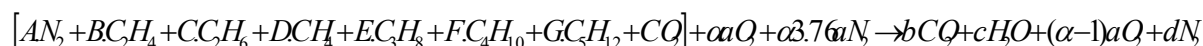
$$m_{agua} h_{agua} = m_{vapor} h_{vapor} \quad (3.3)$$

$$m_{comb} h_{comb} + m_{aire} h_{aire} = m_{gpc} h_{gpc} \quad (3.4)$$

Balance estequiométrico teórico:



Balance estequiométrico real:



Una vez realizado estos balances estequiométricos se determina la relación másica de aire combustible con la ecuación 3.5, de aquí la importancia de hacer estos balances, en los que se incluye el exceso de aire ( $\alpha$ ). De aquí determinamos su composición volumétrica partiendo del balance molar.

$$r_{ac} = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{aire}}{(NM)_C + (NM)_{H_2}} \quad (3.5)$$

La eficiencia de la caldera por primera ley de la termodinámica se da por la ecuación 3.6 la cual es:

$$\eta_{caldera} = \frac{Q_{absorbido}}{Q_{cedido}} \quad (3.6)$$

$$\eta_{caldera} = \frac{m_{agua}(h_{vapor} - h_{agua})}{m_{combustible}h_{combustible} + m_{aire}h_{aire} + m_{combustible}Q_{bc} - m_{gpc}h_{gpc}}$$

El cálculo exergético para esta caldera se llevo a cabo de la siguiente manera:

Corriente 1: entrada de agua de alimentación a la caldera

$$E_1 = e_1 * m_{agua} \quad (3.7)$$

$$e_1 = (h_1 - h_0) - (s_1 - s_0)T_0 \quad (3.8)$$

Corriente 2: salida de vapor producido por la caldera

$$E_2 = e_2 * m_{vapor} \quad (3.9)$$

$$e_2 = (h_2 - h_0) - (s_2 - s_0)T_0 \quad (3.10)$$

Corriente 3: entrada de gas combustible a la caldera

$$E_3 = e_3 * m_{comb} \quad (3.11)$$

$$e_3 = (h_3 - h_0) - (s_3 - s_0)T_0 \quad (3.12)$$

Corriente 4: entrada de aire a la caldera

$$E_4 = e_4 * m_{aire} \quad (3.13)$$

$$e_4 = (h_4 - h_0) - (s_4 - s_0)T_0 \quad (3.14)$$

Corriente 5: salida de gases productos de la combustión

$$E_5 = e_5 * m_{gpc} \quad (3.15)$$

$$e_5 = (h_5 - h_0) - (s_5 - s_0)T_0 \quad (3.16)$$

Es importante mencionar que la diferencia de entropía para el gas combustible se determina mediante la ecuación 3.17

$$(S_2 - S_1) = \overline{CPI}n \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (3.17)$$

La eficiencia exergética de la caldera se puede determinar mediante la ecuación 3.18

$$\eta_{EXERGETICA-CALDERA} = \frac{(E_2 - E_1)}{(E_{Qbc} + E_3 + E_4 - E_5)} \quad (3.18)$$

El análisis termoeconómico de acuerdo a las corrientes que intervienen en esta caldera quedo de la siguiente manera:

$$C_2 + C_5 = C_1 + C_3 + C_4 + Z_{TOTAL-EQUIPO} \quad (3.19)$$

### 3.3 Válvula reductora de vapor de alta presión a vapor de media presión

En la Figura 3.3 se muestra como se reduce el vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de media de 19.5 kg/cm<sup>2</sup>

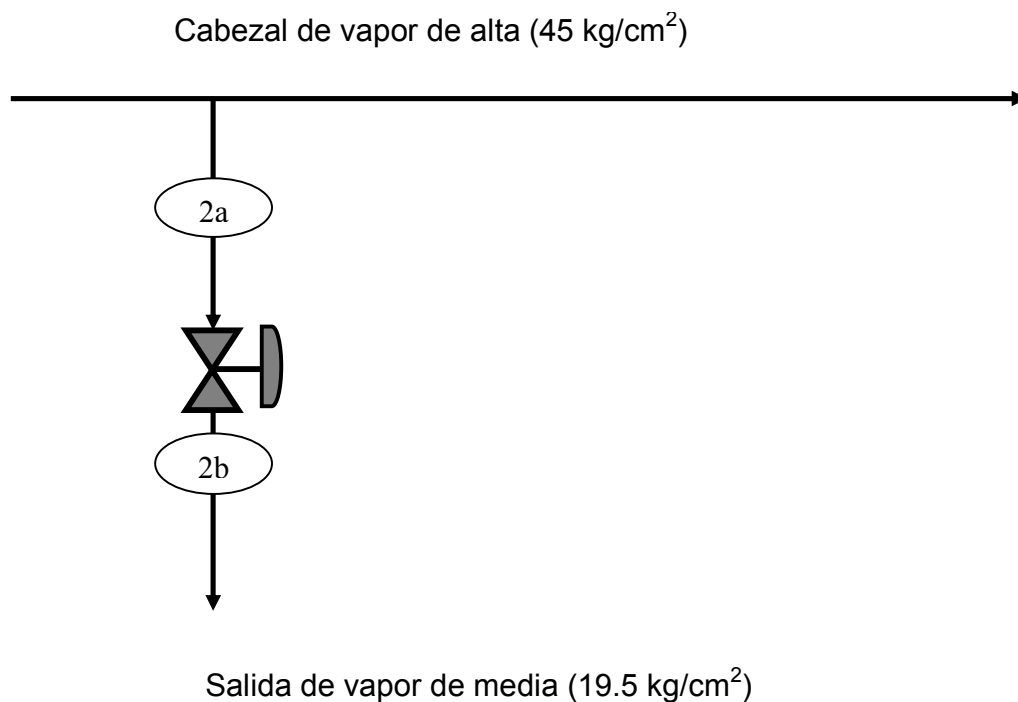


Figura 3.3 Reducción de vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de media de 19.5 kg/cm<sup>2</sup>

A continuación se describen las corrientes que integran la reducción del vapor de alta de  $45 \text{ kg/cm}^2$  a vapor de media de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  del Sector Servicios auxiliares dentro del Complejo Petroquímico Cangrejera:

- Corriente 2a: entrada de vapor de  $45 \text{ kg/cm}^2$  a la válvula reductora
- Corriente 2b: salida de vapor de media después de la reducción en la válvula

En la evaluación termoeconómica de la válvula reductora de presión de vapor de alta de  $45 \text{ kg/cm}^2$  a vapor de media de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  se determinaron los siguientes balances de materia y energía.

Balance de materia:

$$m_{2a} = m_{2b} \quad (3.20)$$

Balance de materia y energía:

$$m_{2a}h_{2a} = m_{2b}h_{2b} \quad (3.21)$$

Las propiedades volumétricas de este equipo se calcularon con el software TPX, el cual trabaja sobre la plataforma Excel.

El cálculo exergetico de cada corriente se llevó a cabo de la siguiente manera:

Corriente 2a: entrada de vapor de alta a la válvula reductora

$$E_{2a} = e_{2a} * m_{2a} \quad (3.22)$$

$$e_{2a} = (h_{2a} - h_0) - (s_{2a} - s_0) * T_0 \quad (3.23)$$

Corriente 2b: salida de vapor de media de la válvula reductora

$$E_{2b} = e_{2b} * m_{2b} \quad (3.24)$$

$$e_{2b} = (h_{2b} - h_0) - (s_{2b} - s_0) \quad (3.25)$$

El balance termoeconómico de esta válvula reductora se describe de la siguiente manera:

$$C_{2b} = C_{2a} + Z_{valvula} \quad (3.26)$$

Donde:

$C_{2b}$  = Costo del flujo de exergía del vapor de media, US\$/seg

$C_{2a}$  = Costo del flujo de exergía del vapor de alta (conocido), US\$/seg

Es importante mencionar que dentro de la evaluación termoeconómica tanto para la caldera que genera vapor de  $45 \text{ kg/cm}^2$  como para la válvula reductora a

vapor de media de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$ , las corrientes fueron enumeradas en este orden, por la razón de que el cálculo es independiente del sistema de vacío evaluado. Más sin embargo las corrientes del sistema de vacío no son independientes debido a que algunas corrientes que integran el sistema de vacío evaluado, si dependen del costo exergético del vapor de  $45 \text{ kg/cm}^2$  y el costo exergético del vapor de media de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  específicamente. Y para resolver una de las variables dentro del planteamiento del problema de esta tesis es necesario que los costos sean exergéticos y no energéticos. Ya que así los costos de las corrientes que integran el sistema de vacío de la turbina 60-C1-T de la Planta Transformadora de Aromáticos del C. P. Cangrejera serán lo mas reales posible.

De acuerdo a estos esquemas nos hemos dado cuenta de los equipos y corrientes que intervienen en el sistema de vacío evaluado, por lo que ahora se enlistan los equipos térmicos que intervienen en esta evaluación termoeconómica y se describen las corrientes que integran el sistema de vacío de la turbina 60-C1-T del Complejo Petroquímico Cangrejera.

- Válvulas reductoras de vapor
- Turbinas de vapor
- Compresor
- Condensador de superficie
- bomba
- Eyector de arranque

Cada equipo térmico que interviene en esta evaluación tiene su propia metodología de cálculo, aunque es importante mencionar que para el cálculo termoeconómico de este sistema era necesario evaluar en forma dependiente y secuencial estos equipos térmicos. Por lo que el desarrollo de esta evaluación se llevo de la siguiente manera:

### 3.4 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de alta presión variable (30 kg/cm<sup>2</sup>).

En la Figura 3.4 se muestra como se reduce el vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de alta variable (30 kg/cm<sup>2</sup>).

A continuación se describen las corrientes que integran la reducción del vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de alta de +/- 30 kg/cm<sup>2</sup> del Sector Servicios auxiliares dentro del Complejo Petroquímico Cangrejera:

- Corriente 1: entrada de vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a la válvula reductora
- Corriente 2: salida de vapor de alta de +/- 30 kg/cm<sup>2</sup> después de la reducción en la válvula

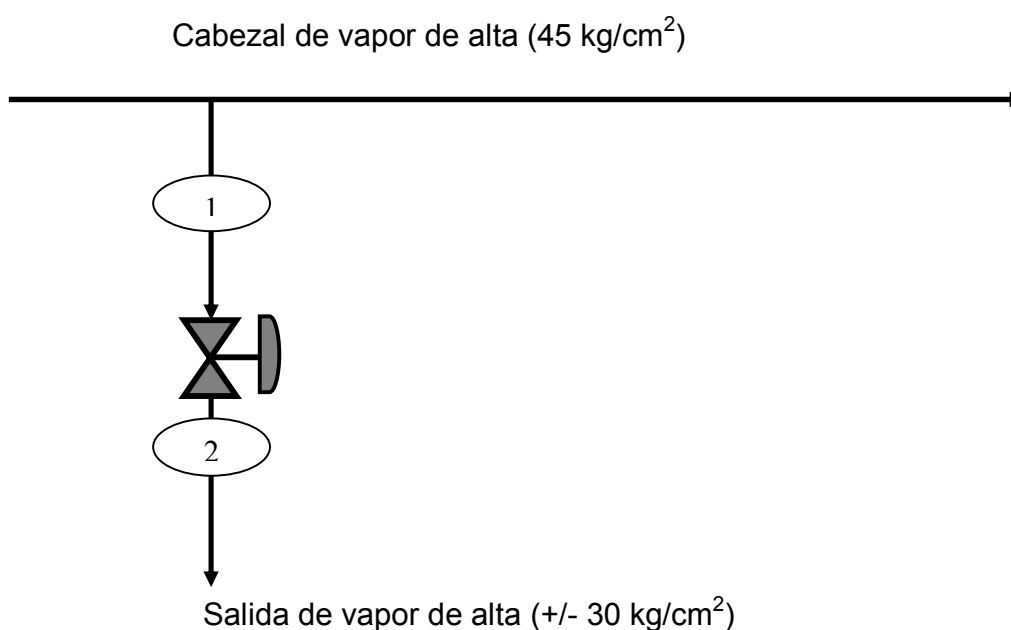


Figura 3.4 Reducción de vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de alta variable (30 kg/cm<sup>2</sup>).

Este cálculo se desarrolló bajo el mismo principio térmico, primeramente se determinaron los balances correspondientes a las corrientes que intervienen en este equipo térmico. Estos balances se presentan en las ecuaciones 3.27 y 3.28 respectivamente.

Balance de materia:

$$m_1 = m_2 \quad (3.27)$$

Balance de materia y energía:



$$m_{2a}h_1 = m_2h_2 \quad (3.28)$$

Las propiedades volumétricas de este equipo se calcularon con el software TPX, el cual trabaja sobre a plataforma Excel.

El cálculo exergético se llevo a cabo de la siguiente manera:

$$E_1 = e_1 * m_1 \quad (3.29)$$

$$e_1 = (h_1 - h_0) - (s_1 - s_0)T_0 \quad (3.30)$$

$$E_2 = e_2 * m_2 \quad (3.31)$$

$$e_2 = (h_2 - h_0) - (s_2 - s_0)T_0 \quad (3.32)$$

El calculo termoeconómico de esta válvula reductora queda de la siguiente manera:

$$C_2 = C_1 + Z_{valvula} \quad (3.33)$$

Donde:

$C_1$  = costo del vapor de alta de 45 kg/cm<sup>2</sup> (costo conocido).

$C_2$  = costo del vapor de alta de +/- 30 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.5 Turbina de vapor 60-C1-T acoplada al compresor 60-C-1

En la figura 3.5 podemos observar las corrientes que intervienen en el turbocompresor 60-C1-T del sistema de vacío evaluado.

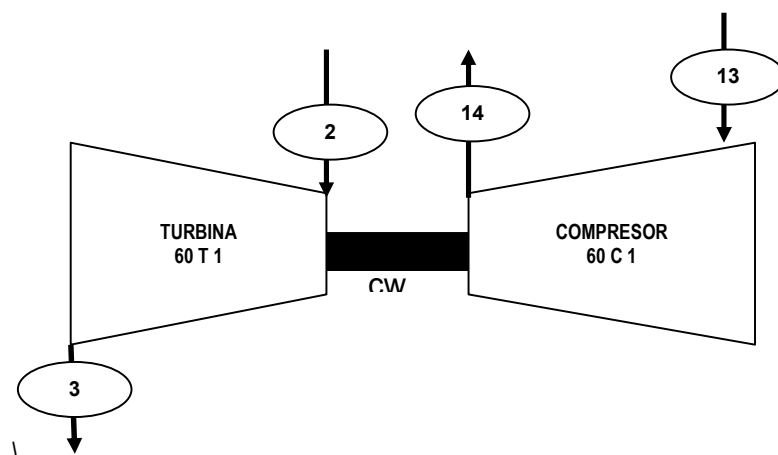


Figura 3.5 acoplamiento del turbocompresor 60-C1-T

A continuación se describen las corrientes que intervienen en el sistema turbocompresor de sistema de vacío 60-C1-T:

Corriente 2: entrada de vapor de alta a la turbina de condensación del sistema de vacío 60 C1 T

Corriente 3: Salida del vapor exhausto de la turbina de condensación

Corriente Cw: Potencia mecánica generada por la turbina 60-C1-T del sistema de vacío.

Corriente 13: entrada de hidrogeno al compresor 60-C-1

Corriente 14: Salida de hidrogeno de recirculación al sistema (reactor 60-R-1).

En este equipo se realizó la evaluación por primera ley de la termodinámica a través de la siguiente metodología ya que las turbinas de vapor tienen una expansión ideal isentrópica y una expansión real a la salida. Dicho comportamiento se puede explicar mediante el siguiente diagrama h-s en la figura 3.6

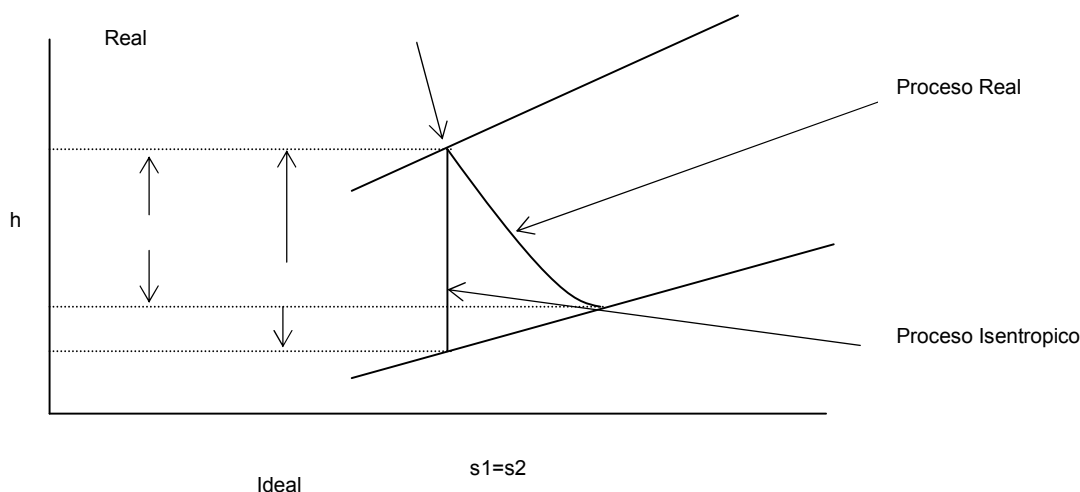


Figura 3.6 Diagrama h-s de la expansión de una turbina de condensación

En este equipo debido a que el combustible que maneja es vapor, las propiedades volumétricas se encuentran a través del complemento TPX, el cual trabaja sobre la plataforma del programa Excel.

Posteriormente procedemos a realizar el cálculo termodinámico por primera ley de la termodinámica de esta turbina de condensación, para poder conocer la eficiencia energética de este equipo. A continuación podemos observar las

ecuaciones y la metodología de cálculo termodinámico para llevar a cabo esta evaluación en la turbina de condensación 60-C1-T:

Potencia ideal de la expansión isentrópica  $s_1=s_2$

$$N_{ideal} = m_{vapor} (h_1 - h_{2i}) \quad (3.34)$$

Potencia real de la expansión

$$N_{real} = m_{vapor} (h_1 - h_3) \quad (3.35)$$

Potencia total de la turbina 60- C1-T

$$N_{Total} = N_{ideal} * \eta_{interna} * \eta_{rodamiento} \quad (3.36)$$

Perdidas de potencia:

$$\Delta P = N_{ideal} - N_{real} \quad (3.37)$$

Eficiencia adiabática de la turbina:

$$\eta_{interna} = N_{real} / N_{ideal} \quad (3.38)$$

Eficiencia total en la turbina:

$$\eta_{Total} = \eta_{interna} * \eta_{rodamiento} \quad (3.39)$$

El análisis exergético de la turbina de condensación se llevo a cabo de la siguiente manera:

$$E_p = W \quad (3.40)$$

$$E_F = E_2 - E_3 \quad (3.41)$$

En la corriente 2: entrada de vapor sobrecalentado a la turbina de condensación la exergía y el flujo exergético esta dado por las ecuaciones 3.42 y 3.43.

$$e_2 = (h_2 - h_0) - (s_2 - s_0)T_0 \quad (3.42)$$

$$E_2 = e_2 * m_2 \quad (3.43)$$

En la corriente 3: salida del vapor exhausto la exergía y el flujo exergético esta dado por las ecuaciones 3.44 y 3.45.

$$e_3 = (h_3 - h_0) - (s_3 - s_0)T_0 \quad (3.44)$$

$$E_3 = e_3 * m_3 \quad (3.45)$$

El análisis termoeconómico de la turbina de condensación se define con las ecuaciones 4.46 y 4.47 de la siguiente manera:

$$C_3 + C_w = C_2 + Z_{Turbina} \quad (3.46)$$

$$c_3 * E_3 + c_w * W = c_2 * E_2 + Z_{Turbina} \quad (3.47)$$

Se conoce  $c_2 E_2$  por lo tanto las incógnitas son:

$c_3$  y  $c_w$ , y su ecuación auxiliar es:  $c_3 = c_2$

Por lo tanto es importante despejar  $c_w = [Z_{Turbina} - c_2(E_3 - E_2)]/W$

### 3.6 Compresor 60-C-1 acoplado a la turbina 60-C1-T

La metodología de cálculo para un compresor se puede explicar mediante el diagrama h-s de los procesos real e isentrópico de un compresor adiabático. En la figura 3.7 se muestra el esquema de este diagrama h-s.

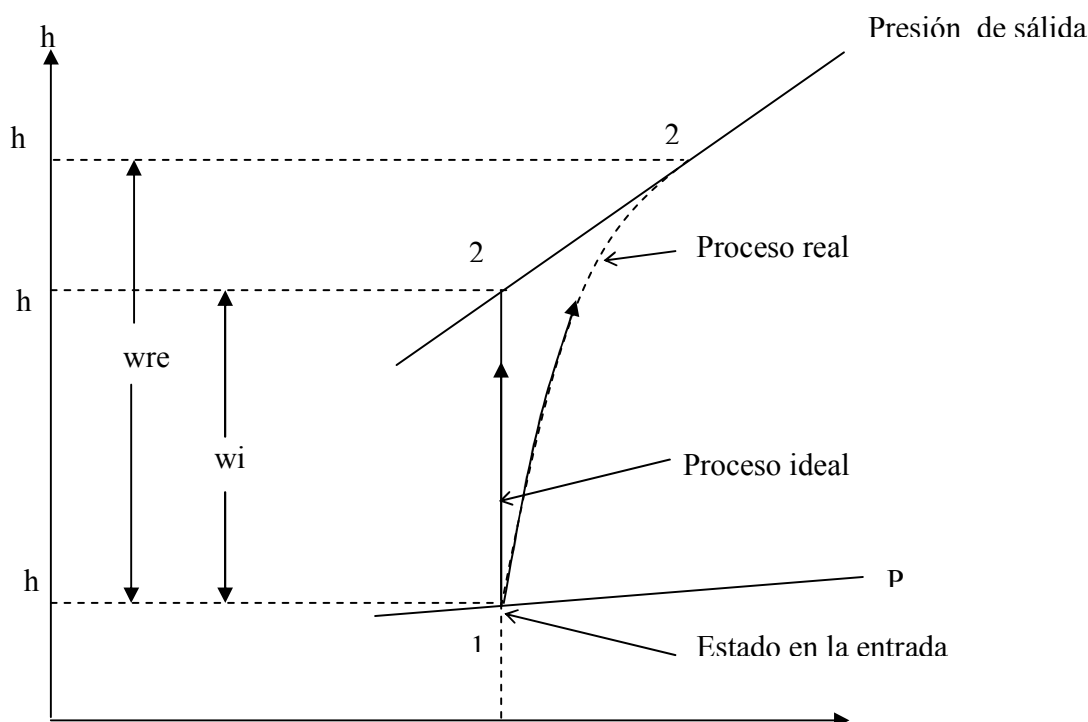


Figura 3.7 Diagrama h-s de los procesos real e isentrópico de un compresor adiabático

En este equipo se determina el balance de materia y energía, el cual a su vez nos ayuda a conocer el flujo másico real del compresor partiendo de que conocemos el flujo de la turbina de vapor que está acoplada a este compresor.

$$m_{H_2} = \frac{m_{vapor} (h_1^r - h_2^i) \eta_{riT} \eta_{mec} \eta_{rc}}{(h_{H_2}^1 - h_{H_2}^2)} \quad (3.48)$$

Debido a que el compresor maneja gases es importante resaltar que las propiedades volumétricas de este equipo térmico siguen una metodología en la que se calcula el  $C_p$  de la mezcla a la entrada y la salida así como su  $C_v$ . Ya que a partir del  $C_p$  vamos a obtener la entalpía en la corriente de entrada y salida del compresor. Para saber el comportamiento del gas calculamos el factor de compresibilidad  $Z_c$  a la entrada y la salida. También es importante comentar que en el análisis termoeconómico es fundamental conocer el costo del gas comprimido en este compresor así como el costo del equipo. Dicho análisis termoeconómico queda dado por la siguiente ecuación:

$$C_{14} = C_W + C_{13} + Z_{\text{compresor}} \quad (3.49)$$

### 3.7 Condensador de Superficie

Es importante comentar que el condensador de superficie dentro de la coraza tiene un comportamiento isobárico por lo que las condiciones de entrada y salida en cuanto a presión no deben de variar muy significativamente. En la figura 3.8 podemos observar las corrientes que intervienen en el condensador de superficie 60-E-6

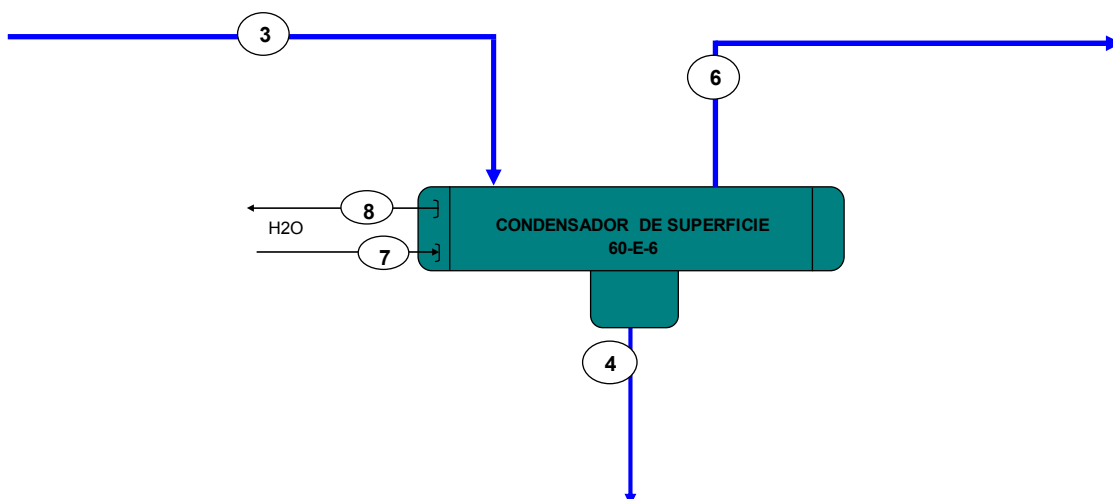


Figura 3.8 Corrientes que intervienen en el condensador de superficie 60-E-6

A continuación se describen las corrientes que integran el condensador 60-E-6:

Corriente 3: entrada de vapor exhausto al condensador 60-E-6 por lado coraza

Corriente 4: salida del condensado por lado coraza del condensador 60-E-6

Corriente 6: salida de incondensables del condensador 60-E-6

Corriente 7: entrada de agua de enfriamiento al condensador 60-E-6 por lado tubos

Corriente 8: salida de agua de enfriamiento del condensador 60-E-6 por lado tubos

Para este análisis se realizó el balance de materia y energía de las corrientes involucradas en este equipo, tomando en cuenta la salida de incondensables extraídos por el eyector de arranque.

Balance de materia lado coraza:

$$m_3 = m_4 + m_9 \quad (3.50)$$

Balance de materia lado tubos:

$$m_7 = m_8 \quad (3.51)$$

Balance de materia y energía de las corrientes que integran el condensador 60-E-6

$$m_3 h_3 + m_7 h_7 = m_4 h_4 + m_8 h_8 + m_9 h_9 \quad (3.52)$$

$$m_3 h_3 + m_8 h_7 - m_8 h_8 = m_4 h_4 + m_9 h_9$$

$$m_3 h_3 + m_8 (h_7 - h_8) = m_4 h_4 + m_9 h_9$$

Partiendo de este balance de materia y energía la eficiencia adiabática en condensador de superficie se puede calcular mediante la ecuación 3.53

$$\eta_{CONDENSADOR_{60-E-6}} = \frac{M_8(H_8 - H_7)}{M_3H_3 - M_4H_4 - M_9H_9} \quad (3.53)$$

El cálculo exergético del condensador de superficie 60-E-6 cuando opera con el eyector de arranque se lleva a cabo mediante la siguiente manera:

$$E_p = E_8 - E_7 \quad (3.54)$$

$$E_f = E_3 - E_4 - E_6 \quad (3.55)$$

Y la eficiencia exergética del condensador queda de la siguiente manera:

$$\eta_{EXERGETICA_{60-E-6}} = \frac{E_8 - E_7}{E_3 - E_4 - E_6} \quad (3.56)$$

El cálculo termoeconómico en este equipo nos lleva a que debemos evaluar la corriente 8 (salida de agua de enfriamiento).

$$C_8 = c_3(E_3 - E_6 - E_4) + c_7 e_7 + Z_{condensador} \quad (3.57)$$

### 3.8 Bomba de condensado 60-P-6A acoplada a la turbina 60-T-6A

En el análisis de la turbobomba como punto de partida se determinaron las propiedades volumétricas de las corrientes involucradas en estos equipos, a través del software TPX, posteriormente se calculó el flujo de vapor requerido de la turbina acoplada a la bomba de condensado por medio de un balance de materia y energía tomando en cuenta que se conoce el flujo de entrada a la bomba de condensado. También es importante resaltar que se llevó a cabo el cálculo de la eficiencia adiabática en la bomba, así como también en la turbina que trabaja con vapor de media a la entrada. A continuación se presenta en la figura 3.9 el dibujo de la turbobomba de condensado, así como también las corrientes que intervienen en estos equipos.

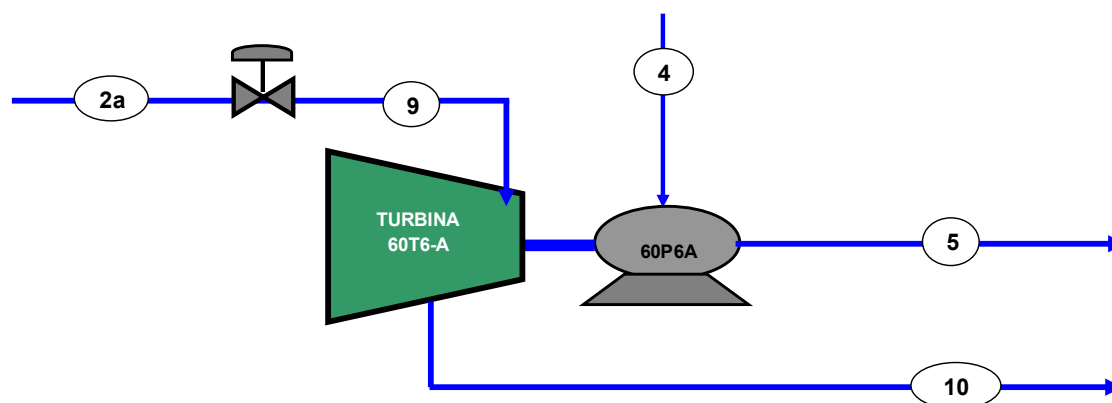


Figura 3.9 Corrientes y equipos que intervienen en la turbobomba 60-P6-TA

Corriente 2a: entrada del vapor de media presión de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  proveniente del cabezal de media presión de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Corriente 4: succión de condensado de la bomba 60-P-6A

Corriente 5: descarga de condensado de la bomba 60-P-6A hacia el cabezal de condensado bombeado de alta

Corriente 9: entrada del vapor de media presión de  $19.5 \text{ kg/cm}^2$  a la turbina 60-T-6A

Corriente 10: salida de vapor de baja presión de  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  hacia el cabezal de baja presión de  $4.5 \text{ kg/cm}^2$

La eficiencia adiabática de la bomba 60-P-6A se define mediante la ecuación 3.58 y la eficiencia adiabática de la turbina 60-T-6A se define mediante la ecuación 3.59, estas ecuaciones se presenta a continuación:

$$\eta_{adiabatica-bomba} = \frac{v(P_2 - P_1)}{h_{2a} - h_1} \quad (3.58)$$

$$\eta_{adiabatica-Turbina} = \frac{h_9 - h_{10_{real}}}{h_9 - h_{10_{ideal}}} \quad (3.59)$$

En este análisis como se menciono anteriormente, el flujo másico necesario de la turbina se determino mediante la ecuación 3.60

$$m_9 = \frac{m_5(h_5 - h_4)}{\eta_{total-turbina} * \eta_{bomba} * (h_9 - h_{10_{ideal}})} \quad (3.60)$$

La eficiencia exergética para la bomba y la turbina se cálculo mediante la ecuación 3.61 respectivamente para cada equipo.

$$\eta_{Exergética} = \frac{E_P}{E_F} \quad (3.61)$$

El análisis termoeconómico que se llevó acabo para la bomba de condensado se define mediante la ecuación 3.62

$$C_5 = CW + C_4 + Z_{bomba} \quad (3.62)$$

Y el análisis termoeconómico para la turbina de vapor acoplada a esta bomba se define con a ecuación 3.63.

$$C_{10} + CW = C_9 + Z_{Turbina} \quad (3.63)$$

### 3.9 Eyector de Arranque

La evaluación en este equipo fue llevada a cabo calculando las condiciones volumétricas de las corrientes que intervienen en el, a través de TPX. También se llevo acabo un balance de materia y energía. El cual contempla 3 corrientes muy importantes en el sistema de vacío. Estas corrientes se pueden observar en la figura 3.10. A continuación se definen las corrientes que intervienen en el eyector de arranque del sistema de vacío evaluado.

Corriente 6. Entrada de incondensables hacia el eyector de arranque

Corriente 11. Entrada de vapor de baja hacia el eyector de arranque

Corriente 12. Salida de vapor hacia a la atmosfera



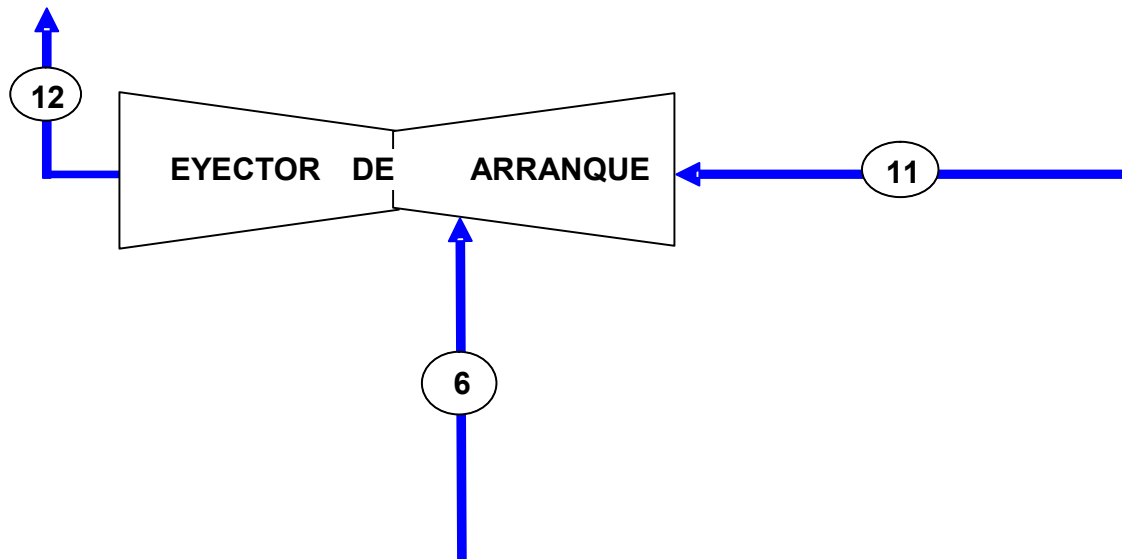


Figura 3.10 Corrientes que integran el eyector de arranque del sistema de vacío evaluado

El balance de materia y energía para el eyector de arranque se define mediante la ecuación 3.64

$$m_{12}h_{12} = m_6h_6 + m_{11}h_{11} \quad (3.64)$$

La evaluación exergética se describe mediante las ecuaciones 3.65 y la ecuación 3.66.

$$E_p = E_{12} \quad (3.65)$$

$$E_f = E_6 + E_{11} \quad (3.66)$$

La evaluación termoeconómica se describe mediante la ecuación 3.67.

$$C_{12} = C_6 + C_{11} + Z_{Eyector} \quad (3.67)$$

## **CAPÍTULO IV**

## CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL CÁLCULO TERMOECONÓMICO DEL SISTEMA DE VACÍO

### 4.1 Resultados del análisis termoeconómico de la caldera de vapor de alta CB - 4

En la caldera de vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>) una vez realizado los balances de materia y energía obtuvimos los siguientes resultados:

$$h_{combustible} = 655.7241624 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{aire} = 307.1947998 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{gpc} = 466.7560845 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{0combustible} = 600.2049393 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{0aire} = 307.1948 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{0gpc} = 331.222658 \text{ kJ/kg}$$

$$r_{mgpc / mcombustible} = 19.74402331 \text{ kg de gpc / kg de combustible}$$

$$m_{gpc} = 82.62 \text{ kg/seg de gpc}$$

$$m_{aire} = 78.43 \text{ kg/seg de aire}$$

$$m_{combustible} = 4.184427382 \text{ kg/seg de combustible}$$

$$m_{agua} = 41.94444444 \text{ kg/seg}$$

$$m_{vapor} = 41.94444444 \text{ kg/seg}$$

En lo que respecta al análisis exergético se obtuvieron los siguientes resultados:

$$e_1 = 48.92 \text{ kJ/kg}$$

$$E_1 = 2051.94 \text{ kw}$$

$$e_2 = 1177.02 \text{ kJ/kg}$$

$$E_2 = 49369.45 \text{ kw}$$

$$e_3 = 66.82 \text{ kJ/kg}$$

$$E_3 = 279.60 \text{ kw}$$

$$e_4 = 0.00 \text{ kJ/kg}$$

$$E_4 = 0.00 \text{ KW}$$

Como podemos observar en la entrada de aire de la caldera de vapor no hay exergía debido a que la exergía se toma de acuerdo al estado muerto y las condiciones en las que esta el equipo son las mismas que las del estado muerto.

$$e_5 = 40.26 \text{ kJ/kg}$$

$$E_5 = 3326.03 \text{ kw}$$

$$Qbc = 35,153.65 \text{ kJ/Kg}$$

Los resultados termoeconómicos de las corrientes más importantes dentro de la caldera se muestran de la siguiente manera:

$$C_1 = c_1 E_1$$

$$C_1 = 1.21 \text{ US\$/m}^3$$

$$C_1 = 0.053545503 \text{ US\$/seg}$$

$$c_1 = C_1 / E_1$$

$$c_1 = 0.00002610 \text{ US\$/kJ}$$

$$C_3 = c_3 E_3$$

$$C_3 = 8.62 \text{ US\$/mmbtu}$$

$$C_3 = 1.201816223 \text{ US\$/seg}$$

$$c_3 = C_3 / E_3$$

$$c_3 = 0.004298389 \text{ US\$/kJ}$$

$$C_2 = c_2 E_2$$

$$C_2 = 1.282135908 \text{ US\$/seg}$$

$$C_2 = 30.5674786 \text{ US\$/Ton}$$

$$c_2 = C_2 / E_2$$

$$c_2 = 0.000619158 \text{ US\$/kJ}$$

$$Z_{caldera} = 0.026774181 \text{ US\$/seg}$$

Es importante comentar que el precio en la corriente 2 (vapor de alta de presión de 45 kg/cm<sup>2</sup>) es más alto que el precio manejado en el sector servicios auxiliares del Complejo Petroquímico Cangrejera debido a que este precio fue calculado de manera exergético. Y que el precio del vapor de media de 19.5 kg/cm<sup>2</sup>, sea aun mas caro debido a la reducción que se le hace al vapor de alta.

## 4.2 Resultados del análisis termoeconómico de las válvulas reductoras

### 4.2.1 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de media presión de 19.5 kg/cm<sup>2</sup>

En esté evaluación termoeconómica el precio exergético de la corriente 2b es dependiente del precio exergético que se calculo en la corriente 2 (generación de vapor de alta presión) dando como resultado lo que aparece a continuación:

$$e_{2a} = 1177.02 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{2a} = 122.13 \text{ kw}$$

$$e_{2b} = 952.25 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{2b} = 98.80 \text{ kw}$$

La evaluación termoeconómica en esta válvula reductora nos da los siguientes costos exergéticos:

$$C_{2a} = 0.003171671 \text{ US$/seg}$$

$$c_{2a} = 0.0000259702 \text{ US$/kJ}$$

$$Z_{\text{valvula1}} = 0.0002362 \text{ US$/seg}$$

$$C_{2b} = 0.003407883 \text{ US$/seg}$$

$$C_{2b} = 32.84400228 \text{ US$/Ton}$$

$$c_{2b} = 0.000034491 \text{ US$/kJ}$$

#### 4.2.2 Válvula reductora de vapor de alta presión de 45 kg/cm<sup>2</sup> a vapor de alta presión variable

$$e_2 = 1127.59 \text{ kJ/kg}$$

$$E_2 = 12502.69 \text{ kw}$$

$$e_1 = 1177.02 \text{ kJ/kg}$$

$$E_1 = 13050.80 \text{ kw}$$

La evaluación termoeconómica en esta válvula reductora nos da los siguientes costos exergéticos:

$$C_1 = 30.5674786 \text{ US\$/Ton}$$

$$C_1 = 0.338932203 \text{ US\$/seg}$$

$$c_1 = 0.00002597 \text{ US\$/kJ}$$

$$C_2 = 30.58878193 \text{ US\$/Ton}$$

$$C_2 = 0.33916841 \text{ US\$/seg}$$

$$c_2 = 0.000027128 \text{ US\$/kJ}$$

$$Z_{\text{valvula2}} = 0.0002362 \text{ US\$/seg}$$

Como podemos observar el costo exergética en la corriente 2 es más que el costo exergético de la corriente 1, debido a que en esta corriente agregamos una válvula reductora más.

### 4.3 Resultados del análisis termoeconómico de la turbina de condensación 60-C1-T acoplada al compresor 60-C-1

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resumen en la tabla IV que se muestra a continuación:

Tabla IV. Resultado termoeconómico de la turbina 60-C1-T

DATOS CONOCIDOS:		
COSTO VAPOR EXERGETICO (C <sub>2</sub> ) =	30.58878	US\$/Ton
	0.030588	US\$/kg
Flujo Másico 2 =	11.088	kg/seg
E <sub>2</sub> =	12502.69	kJ/seg
E <sub>3</sub> =	1812.45	kJ/seg
C <sub>2</sub> = (US\$/Kg)*(Kg/Seg) = US\$/Seg		
C <sub>2</sub> =	0.339168	US\$/seg
C <sub>2</sub> =	29304.15	US\$/dia
C <sub>2</sub> =	1221.01	US\$/hr
C <sub>2</sub> = C <sub>3</sub>	0.000027	US\$/kJ
c <sub>3</sub> =	0.000027	US\$/KJ
C <sub>3</sub> = c <sub>3</sub> *E <sub>3</sub>	0.049167	US\$/Seg
C <sub>3</sub> =	177.0028	US\$/hr
C <sub>3</sub> =	4248.068	US\$/dia
C <sub>3</sub> =	0.004434	US\$/kg
C <sub>3</sub> =	4.434295	US\$/Ton
Z <sub>Turbina</sub> =	0.002952	US\$/seg
W =	6932.640	kJ/seg
C <sub>w</sub> =	0.000042	US\$/kJ
C <sub>w</sub> = c <sub>w</sub> *W	0.292953	US\$/seg
C <sub>w</sub> =	25311.19	US\$/dia

#### 4.4 Resultados del análisis termoeconómico del Compresor 60-C-1 acoplado a la turbina 60-C1-T

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resume en la tabla V que se muestra a continuación:

Tabla V. Resultado termoeconómico del compresor 60-C-1

DATOS CONOCIDOS:		
COSTO H2 EXERGETICO (C13) =	87	US\$/Ton
	0.087	US\$/kg
Flujo Másico =	34.65212	kg/seg
E13 =	37270.84	kJ/seg
E14 =	41830.82	kJ/seg
$C_{13} = (\text{US\$/Kg}) * (\text{Kg/Seg}) = \text{US\$/seg}$		
$C_{13} =$	3.014735	US\$/seg
$C_{13} =$	10853.05	US\$/hr
$C_{13} =$	260473.1	US\$/dia
$C_{13} =$	0.000080	US\$/kJ
$C_w =$	0.292953	US\$/seg
$C14 = C_w + C13 + Z_{\text{compresor}}$	3.31064	US\$/seg
$C14 = C_w + C13 + Z_{\text{compresor}}$	11,918.31	US\$/hr
$C_{14} =$	0.000079	US\$/kJ
$C14 =$	0.09553	US\$/kg
$C14 =$	95.54	US\$/Ton
$Z_{\text{Compresor}} =$	0.00295	US\$/seg
$\Delta C = C14 - C13$	8.54	US\$/Ton



#### 4.5 Resultados del análisis termoeconómico del condensador de superficie 60-E-6

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resume en la tabla VI, los cuales se muestra a continuación:

Tabla VI. Resultado termoeconómico del condensador de superficie 60-E-6

DATOS CONOCIDOS:		
COSTO AGUA ENFRIAMIENTO EXERGETICO (C7) =	0.37	US\$/m3
	0.00037	US\$/kg
Flujo Másico =	499.498	kg/seg
E7 =	170.53	kJ/seg
E8 =	603.99	kJ/seg
E6 =	2.49	kJ/eg
E3 =	1812.45	kJ/seg
E4 =	9.73	kJ/seg
$C_7 = (\text{US}/\text{Kg}) * (\text{Kg}/\text{Seg}) = \text{US}/\text{seg}$	0.18557	US\$/seg
$c_7 = C_7/E_7$	0.00108	US\$/kJ
$c_3 =$	0.00002	US\$/kJ
$C_3 = c_3 * E_3$	0.04916	US\$/seg
$C_3 =$	0.00443	US\$/kg
$C_3 =$	4.43429	US\$/Ton
$Z_{\text{Condensador 60E6}} =$	0.00029	US\$/seg
$C_8 = c_3 * (E_3 - E_6 - E_4) + c_7 e_7 + Z_{\text{condensador 60E6}}$	0.23471	US\$/seg
$C_8 =$	0.00046	US\$/kg
$C_8 =$	0.46593	US\$/m3
$c_8 = C_8/E_8$	0.00038	US\$/KJ
$c_3 = c_4 = c_6$	0.00002	US\$/kJ
$C_4 = c_4 * E_4$	0.00026	US\$/seg
$C_4 =$	0.00002	US\$/kg
$C_4 =$	0.02382	US\$/Ton
$C_6 = c_6 * E_6$	0.00006	US\$/seg
$C_6 =$	0.00443	US\$/kg
$C_6 =$	4.43429	US\$/Ton

#### 4.6 Resultados del análisis termoeconómico de la turbina 60-T-6A acoplada a la bomba 60-P-6A

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resume en la tabla VII, los cuales se muestra a continuación:

Tabla VII. Resultado termoeconómico de la turbina 60-T-6<sup>a</sup>

DATOS CONOCIDOS		
<b>COSTO EXERGETICO DE VAPOR DE MEDIA (C9) =</b>	<b>32.84400</b>	<b>US\$/Ton</b>
	<b>0.032844</b>	<b>US\$/kg</b>
<b>Flujo Másico 9 =</b>	<b>0.103862</b>	<b>kg/seg</b>
<b>E9 =</b>	<b>98.90</b>	<b>kJ/seg</b>
<b>E10 =</b>	<b>73.29</b>	<b>kJ/seg</b>
<b>C<sub>9</sub> = (US\$/Kg)*(Kg/Seg) = US\$/seg</b>		
<b>C<sub>9</sub> =</b>	<b>0.003411</b>	<b>US\$/seg</b>
<b>C<sub>9</sub> =</b>	<b>294.7336</b>	<b>US\$/dia</b>
<b>C<sub>9</sub> =</b>	<b>12.28</b>	<b>US\$/hr</b>
<b>C<sub>9</sub> = C<sub>10</sub></b>	<b>0.000034</b>	<b>US\$/kJ</b>
<b>C<sub>10</sub> =</b>	<b>0.000034</b>	<b>US\$/kJ</b>
<b>C10 =</b>	<b>0.002527</b>	<b>US\$/seg</b>
<b>C10 =</b>	<b>9.099776</b>	<b>US\$/hr</b>
<b>C10 =</b>	<b>0.024337</b>	<b>US\$/kg</b>
<b>C10 = C11 (costo exergetico del vapor de baja)</b>	<b>24.33706</b>	<b>US\$/Ton</b>
<b>Z<sub>Turbina</sub> =</b>	<b>0.000029</b>	<b>US\$/seg</b>
<b>W =</b>	<b>18.57938</b>	<b>kJ/seg</b>
<b>C<sub>w</sub> =</b>	<b>0.000049</b>	<b>US\$/kJ</b>
<b>C<sub>w</sub> =</b>	<b>0.000913</b>	<b>US\$/seg</b>
<b>C<sub>w</sub> =</b>	<b>78.89013</b>	<b>US\$/dia</b>
<b>C<sub>w</sub> =</b>	<b>0.000913</b>	<b>US\$/seg</b>

#### 4.7 Resultados del análisis termoeconómico de la bomba 60-P6-A acoplada a la turbina 60-T6-A

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resume en la tabla VIII, los cuales se muestra a continuación:

Tabla VIII. Resultado termoeconómico de la bomba 60-P6-A

DATOS CONOCIDOS		
COSTO EXERGETICO DE CONDENSADO (C4) =	0.02382	US\$/Ton
	0.00002	US\$/kg
Flujo Másico <sub>4</sub> de bomba 60-P-6A =	11.0727	kg/seg
E4 =	9.73	kJ/seg
E5 =	21.19	kJ/seg
$C_4 = (\text{US\$/Kg}) * (\text{Kg/Seg}) = \text{US\$/Seg}$		
C <sub>4</sub> =	0.00026	US\$/seg
C <sub>4</sub> =	22.7942	US\$/dia
C <sub>4</sub> =	0.95	US\$/hr
$c_4 = C_4/E_4$	0.00002	US\$/kJ
C <sub>w</sub> =	0.00091	US\$/seg
C5 = C <sub>w</sub> + C <sub>4</sub> + Z <sub>bomba</sub>	0.00120	US\$/seg
C5 =	4.34	US\$/hr
C5 =	0.00010	US\$/kg
C5 =	0.10895	US\$/Ton
$c_5 = C5/E5$	0.00005	US\$/kJ
Z <sub>Bomba</sub> =	0.00002	US\$/seg

#### 4.8 Resultados del análisis termoeconómico del eyector de arranque del sistema de vacío evaluado

En este equipo térmico los resultados de la evaluación termoeconómica se resume en la tabla IX, los cuales se muestra a continuación:

Tabla IX, Resultado termoeconómico del eyector de arranque

DATOS CONOCIDOS:		
COSTO VAPOR EXERGETICO (C6) =	4.43429	US\$/Ton
	0.00443	US\$/kg
COSTO EXERGETICO DE VAPOR DE BAJA(11) =	24.3370	US\$/Ton
	0.02433	US\$/kg
Flujo Másico 6 =	0.01524	kg/seg
Flujo Másico 11 =	0.04736	kg/seg
Flujo Másico 12 =	0.06260	kg/seg
E6 =	2.49	kJ/seg
E11 =	33.42	kJ/seg
E12 =	23.76	kJ/seg
$C = (US\$/Kg) * (Kg/Seg) = US\$/Seg$		
$C_6 =$	0.00006	US\$/seg
$C_{11} =$	0.00115	US\$/seg
$C_{12} = C_6 + C_{11} + Z_{eyector}$	0.00123	US\$/seg
$c_{12} =$	0.00005	US\$/kJ
$C_{12} =$	0.01977	US\$/kg
$C_{12} =$	19.7744	US\$/Ton
$C_{11} =$	0.00115	US\$/seg
$c_{11} =$	0.00003	US\$/kJ
$C_{11} =$	0.02433	US\$/kg
$C_{11} =$ Costo exergético de vapor tirado a la atmosfera	24.3370	US\$/Ton
$C_6 =$	0.00006	US\$/seg
$c_6 =$	0.00002	US\$/kJ
$C_6 =$	0.00443	US\$/kg
$C_6 =$	4.43429	US\$/Ton
$Z_{eyector} =$	0.00001	US\$/seg

#### 4.9 Índices energéticos calculados para el sistema de vacío 60-C1-T

Índices de consumo de vapor = 0.319980353 kg vapor de alta/ kg de hidrogeno

Flujo másico de vapor = 11.088 kg/seg

Flujo másico de hidrogeno = 34.65212757 kg/seg

Este es uno de los índices más importante del sistema de vacío debido a que para comprimir el flujo de gas se consume una alta cantidad de flujo de vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>).

Índice de incremento del costo de hidrógeno por kg = 0.008539338 US\$/kg H2

Índice de incremento del costo de hidrógeno por Ton = 8.5393381 US\$/Ton H2

Costo de salida H2 – Costo de entrada H2 = 0.295906233 US/seg

Flujo másico de hidrogeno = 34.65212757 kg/seg

Este índice nos habla del incremento en el costo que tiene el hidrógeno al ser comprimido.

Índice del vapor liberado a la atmósfera = 0.00003573 dolares/kg de hidrógeno

Índice del vapor liberado a la atmósfera = 0.03572782 dolares/Ton de hidrógeno

Costo de vapor liberado = 0.001238045 dolares/seg

Cantidad de flujo comprimido = 34.65212757 kg/seg

Este índice nos dice cuanto nos cuesta operar el eyector de arranque y tirar ese vapor a la atmósfera.

Índice de consumo de combustible en la caldera = 0.00008843 Kg/KJ

Flujo másico de combustible = 4.184427382 kg/seg

Exergía de salida del vapor generado en la caldera – Exergía de entrada de agua alimentada a la caldera = 47317.51 KJ/Seg

Este índice nos dice cuanta energía se absorbe del poder calorífico del combustible por el agua que se alimenta a la caldera.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio planteado se puede decir que muchas industrias consumidoras de energía, llámense químicas, petroquímicas o térmicas no realizan evaluaciones termoeconómicas, podemos decir eso debido a que de acuerdo a la información recaudada en lugar evaluado no toman en cuenta los costos exergéticos, de aquí la importancia de tomar en cuenta este tipo de análisis para obtener sus verdaderos costos de operación y desarrollar proyectos de mejora en el uso de la energía.

Uno de los resultados importantes en la evaluación termoeconómica es que nos permite ver como esta distribuida la energía, así como también sus pérdidas hacia el medio ambiente.

Se obtuvo por primera vez esta herramienta de cálculo termoeconómica, la cual permite conocer los costos reales de las corrientes que integran el sistema de vacío de la turbina 60-C1-T dentro del complejo petroquímico cangrejera en tiempo real.

Es importante recomendar que a los equipos que se encuentran operando actualmente, también se les haga este estudio termoeconómico, ya que esto los llevaría a ser empresas competitivas y de esa manera participar en el desarrollo sustentable de la Nación.

Por otra parte, es necesario que se destine inversión para el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan el aprovechamiento de la energía sin sacrificar o destruir exergía, haciendo que los procesos sean más eficientes y esto les permita disminuir sus costos a nivel de la empresarial.

También se recomienda que dentro de los planes de estudio termodinámico específicamente, se les oriente a los estudiantes a profundizarse en el análisis de la segunda ley y tercera ley de la termodinámica. Ya que esto tendrá un beneficio en el factor humano a nivel mundial y a su vez esto permita que a las industrias se les realicen este tipo evaluaciones a corto plazo.

## **BIBLIOGRAFÍA**



**BIBLIOGRAFÍA**

1. Bejan Adrian., "Advanced Engineering Thermodynamics" Second Edition, JOHN WILEY & SON, New York 1997., pp. 523-562.
2. Bejan Adrian., Tsatsaronis George, Moran Michael "Thermal Design & Optimization", JOHN WILEY & SON, New York, 1996.
3. Cengel Yunos A., Michael A. Boles., "Termodinámica tomo 2," Segunda Edición, McGraw-Hill, México 2001, pp. 8.
4. Cengel Yunos A., Michael A. Boles., "Termodinámica tomo 2," Segunda Edición, McGraw-Hill, México 2001, pp. 295-340.
5. Cengel Yunos A., Michael A. Boles., "Termodinámica tomo 2," Segunda Edición, McGraw-Hill, México 2001, pp. 523-562.
6. Howell John R., Buckius Richard O. Principios de Termodinámica para Ingeniería. McGraw-Hill Interamericana de México S.A. de C.V. 1990.
7. Ibrahim Dincer and Cengel Yunnnes A., "Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering" entropy 2001, [www.mdpi.org/entropy/](http://www.mdpi.org/entropy/)
8. Leucona Newmann Antonio, "Análisis Energético y Exergético, Introducción a la Termoeconomía" Área de Ingeniería Térmica, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III.
9. Lienhard IV John H., Lienhard V John H., A Heat Transfer Textbook Third Edition, Phlogiston Press, Cambridge Massachusetts. Electronic version 1.11 dated August 6, 2002. For updates and information, visit <http://web.mit.edu/lienhard/> [www/ahtt.html](http://www/ahtt.html).
10. Manual de diseño de la planta de Transformadora de Aromáticos. Fluor Engineers and constructor Company, 1975.
11. Perry's Chemical Engineers' Handbook, Seventh Edition McGraw-Hill Company, 1997.
12. Ramírez Mesa Roberto, Catedrático de la Maestría en ingeniería Energética del Tecnológico de Minatitlán, Veracruz. Casados Mellado Arturo, Catedrático de la Maestría en ingeniería Energética del Tecnológico de Minatitlán, Veracruz, México.

13. Reinerus Louwrentius Cornelissen, Thermodynamics and sustainable development. The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility. FEBODRUK BV, Enschede, 1997.
14. Sanz Martín Ángel, "Diccionario Esencial de la Lengua Española", Real Academia Española, ESPASA.
15. S/A., Nociones Sobre Eyectores, México 1997, [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
16. Tsatsaronis George, "A Review of Exergoeconomic Methodologies". Second Law Analysis of Thermal Systems.
17. Tsatsaronis George, "Thermoeconomic Analysis And Optimization Of Energy Systems" Prog. Energy Combust. Sci. 1993. Vol. 19, pp. 227-257.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Hojas de especificaciones de la turbina de vapor 60-C1-T

FLUOR  
SPECIFICATION SHEET  
SPECIAL-PURPOSE STEAM TURBINE

JOB NO. 454504 ITEM NO. 60-C1-T  
 PURCHASE ORDER NO. 45451K-4-0301  
 REQUISITION NO. A-0301  
 INQUIRY NO. 0301-4-45451B  
 PAGE 11 OF 14 BY RLP/SA  
 DATE 8/15/77 REV. 4

APPLICABLE TO: <input type="checkbox"/> PROPOSAL <input checked="" type="checkbox"/> PURCHASE <input type="checkbox"/> AS BUILT FOR <u>PEMEX</u> UNIT <u>Octafiner</u> SITE <u>La Cangrejera, Mexico</u> SERIAL NO. <u>2.7.9023/A504015E</u> SERVICE <u>Recycle Gas Compressor</u> NO. REQ'D <u>1</u> MANUFACTURER <u>ELLIOTT COMPANY/EBARA</u> OUTLINE DWG. <u>79-2</u> SECTION DWG. <u>-</u> MODEL <u>SQV-8DF</u> TYPE <u>MV-MS</u> DRIVEN EQUIPMENT <u>Centrifugal Compressor (46MB8)</u>																															
NOTE: <input type="checkbox"/> INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER; <input type="checkbox"/> BY MANUFACTURER PARAGRAPH NUMBERS WITHIN ( ) REFER TO APPLICABLE PARTS OF THIS STANDARD																															
<p style="text-align: center;"><b>OPERATING CONDITIONS</b></p> INDICATE GUARANTEE POINT BY * <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>HORSEPOWER</th> <th>SPEED, RPM</th> <th>STEAM RATE LB/HR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> RATED</td> <td><u>11,719</u></td> <td><u>6015</u></td> <td><u>7.84 * (1)</u></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> NORMAL</td> <td><u>10,290</u></td> <td><u>6015</u></td> <td><u>7.65 * (2)</u></td> </tr> </tbody> </table> <p>* (1) MINIMUM STEAM (2) NORMAL STEAM  <input checked="" type="checkbox"/> 1ST CRIT. SPEED <u>3188</u> RPM 2ND CRIT. SPEED <u>9582</u> RPM  <input checked="" type="checkbox"/> MAX. CONT. SPEED <u>6540</u> RPM TRIPSPEED <u>7200</u> RPM</p> <p><b>STEAM CONDITIONS:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> INLET STEAM</p> <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>NORMAL</td> <td><u>625</u> PSIG</td> <td><u>725</u> °FT</td> </tr> <tr> <td>MAX. INITIAL</td> <td><u>650</u></td> <td><u>750</u></td> </tr> <tr> <td>MIN. INITIAL</td> <td><u>590</u></td> <td><u>700</u></td> </tr> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> EXHAUST STEAM</p> <table style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>NORMAL</td> <td><u>4 in Hg abs</u></td> <td><u>125</u> °FT</td> </tr> <tr> <td>MAX.</td> <td><u>-</u></td> <td><u>-</u></td> </tr> <tr> <td>MIN.</td> <td><u>-</u></td> <td><u>-</u></td> </tr> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> MAX. THROTTLE FLOW, LB/HR <u>85000</u>  <input checked="" type="checkbox"/> MAX. FLOW TO CONDENSER, <u>85000</u> LB/HR <u>4</u> IN. HO  <input type="checkbox"/> PERFORMANCE CURVE NO. _____</p> <p>DUTY: <input checked="" type="checkbox"/> CONT. <input type="checkbox"/> INTERMIT <input type="checkbox"/> STANDBY <u>61320</u> HR/YR  <input type="checkbox"/> APPROX. STEAM RATE DESIRED _____ LB/HR/HR  <input checked="" type="checkbox"/> STEAM COST <u>8.91</u> \$/MWH PAYOUT PERIOD <u>5</u> YRS</p> <p>LOCATION: _____ (86)  <input type="checkbox"/> INDOOR <input type="checkbox"/> HEATED <input checked="" type="checkbox"/> UNDER ROOF  <input type="checkbox"/> OUTDOOR <input checked="" type="checkbox"/> UNHEATED <input type="checkbox"/> PARTIAL SIDES  <input type="checkbox"/> GRADE <input checked="" type="checkbox"/> MEZZANINE  <input checked="" type="checkbox"/> SITE ELEVATION <u>66</u> FT. BAR <u>14.7</u> PSIA,  <input checked="" type="checkbox"/> WINTER TEMP. °F <u>101.5</u> SUMMER <u>67.1</u> WINTER  <input type="checkbox"/> WINTERIZATION REQD. <input checked="" type="checkbox"/> TROPICALIZATION REQD.                  UNUSUAL CONDITIONS <input type="checkbox"/> DUST <input type="checkbox"/> FUMES <input type="checkbox"/> OTHER _____  <input type="checkbox"/> COOLING WATER SUPPLY TEMPERATURE:  <u>90</u> °F, PRESSURE <u>55</u> PSIG, MAX. ΔP <u>10</u></p>		HORSEPOWER	SPEED, RPM	STEAM RATE LB/HR	<input checked="" type="checkbox"/> RATED	<u>11,719</u>	<u>6015</u>	<u>7.84 * (1)</u>	<input checked="" type="checkbox"/> NORMAL	<u>10,290</u>	<u>6015</u>	<u>7.65 * (2)</u>	NORMAL	<u>625</u> PSIG	<u>725</u> °FT	MAX. INITIAL	<u>650</u>	<u>750</u>	MIN. INITIAL	<u>590</u>	<u>700</u>	NORMAL	<u>4 in Hg abs</u>	<u>125</u> °FT	MAX.	<u>-</u>	<u>-</u>	MIN.	<u>-</u>	<u>-</u>	<p style="text-align: center;"><b>CONSTRUCTION FEATURES</b></p> <p>TYPE: <input type="checkbox"/> VERTICAL <input checked="" type="checkbox"/> HORIZONTAL (NO. STAGES <u>5</u>)                  CASING SPLIT <input checked="" type="checkbox"/> HORIZONTAL <input type="checkbox"/> VERTICAL <u>1-DF</u>                  ROTOR <input checked="" type="checkbox"/> SOLID <input type="checkbox"/> BUILT UP                  ROTATION (FROM GOV. END) <input type="checkbox"/> CW <input checked="" type="checkbox"/> CCW  <input checked="" type="checkbox"/> MAX. TIP SPEED <u>965</u> FPS</p> <p>GOVERNOR TYPE:  <input type="checkbox"/> MECH. <input checked="" type="checkbox"/> HYDR. <input type="checkbox"/> OIL RELAY NEMA CLASS <u>D</u> (316)  <input checked="" type="checkbox"/> GOVERNOR MFR. <u>WOODWARD</u> MODEL <u>PG-PL</u>  <input checked="" type="checkbox"/> AIR HEAD FOR INSTRUMENT CONTROL (316) <input type="checkbox"/> JACKSCREW                  RANGE: <u>4500</u> RPM @ <u>3</u> PSIG <u>6315</u> RPM @ <u>15</u> PSIG (4)  <input checked="" type="checkbox"/> HAND SPEED CHANGER: RPM <u>6315</u> MAX. <u>4500</u> MIN. (316)  <input checked="" type="checkbox"/> NO. AUTO VALVES <u>5</u> TYPE LIFT: <input type="checkbox"/> CAM <input checked="" type="checkbox"/> STAR                  HAND VALVES: <input type="checkbox"/> MIN. STEAM PRESS. <input type="checkbox"/> ECONOMY (316)                  SEPARATE TRIP THROTTLE VALVE: <input checked="" type="checkbox"/> HYD. <input type="checkbox"/> MECH. (32)  <input checked="" type="checkbox"/> REMOTE TRIP <input checked="" type="checkbox"/> ACTUATION (<u>SOLENOID</u>)                  BEARINGS:                  RADIAL TYPE <u>III-T-PAD</u> AREA _____ SQ. IN.                  THRUST TYPE <u>DEL RINGS</u> AREA <u>23</u> SQ. IN.                  MAX. THRUST LOAD _____ LB.                  THRUST CAPACITY _____ LB.</p> <p><b>PACKING TYPE:</b> _____ (354)                  INTERSTAGE GLAND SEALS <u>LABYRINTH</u>                  END-GLAND SEALS <u>LABYRINTH</u> NO. PER BOX _____  <input checked="" type="checkbox"/> INSULATION <input checked="" type="checkbox"/> JACKET MATERIAL <u>STEEL</u> (306)</p> <p><b>TACHOMETER:</b>  <input type="checkbox"/> VIBR. REED <input checked="" type="checkbox"/> ELECTRIC <input type="checkbox"/> ELECTRONIC  <input checked="" type="checkbox"/> NO. SPEED INDICATOR REQD. <u>2</u> (By Floor) (354)                  LOCATIONS <u>Panel</u>  <input checked="" type="checkbox"/> TACHOMETER MFR. <u>SANKEN AIRPAX</u> MODEL <u>L-0005</u></p> <p><b>BASEPLATE &amp; SOLEPLATES:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> BASEPLATE BY <u>ELLIOTT</u> (316)  <input type="checkbox"/> UNDER TURBINE ONLY  <input type="checkbox"/> UNDER TURBINE AND GEAR  <input checked="" type="checkbox"/> UNDER TURBINE AND DRIVEN EQUIPMENT                  SOLEPLATE BY _____</p> <p><b>GLAND SEALING SYSTEM:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> STEAM EJECTOR REQD. <u>60</u> PSIG <u>767</u> °FT (36)  <input checked="" type="checkbox"/> GLAND CONDENSER REQD. <input type="checkbox"/> VACUUM DEVICE (354)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ELECTRICAL AREA CLASS <u>1</u> GR <u>2</u> DIV. <u>II</u> (36)  <u>+/OR JIS d2G4</u></p>
	HORSEPOWER	SPEED, RPM	STEAM RATE LB/HR																												
<input checked="" type="checkbox"/> RATED	<u>11,719</u>	<u>6015</u>	<u>7.84 * (1)</u>																												
<input checked="" type="checkbox"/> NORMAL	<u>10,290</u>	<u>6015</u>	<u>7.65 * (2)</u>																												
NORMAL	<u>625</u> PSIG	<u>725</u> °FT																													
MAX. INITIAL	<u>650</u>	<u>750</u>																													
MIN. INITIAL	<u>590</u>	<u>700</u>																													
NORMAL	<u>4 in Hg abs</u>	<u>125</u> °FT																													
MAX.	<u>-</u>	<u>-</u>																													
MIN.	<u>-</u>	<u>-</u>																													

PRINTED IN U.S.A.

FORM E-372A 12/75







Anexo 2. Hoja de Especificación del condensador de superficie 60-E-6.

FULL SUPPLEMENT  
SPECIFICATION SHEET AS BUILT

**SURFACE CONDENSER**

SHEET NO. 1 REV. 2  
DATE 4-1-77  
BY GR/RZ CHK'D. CEZ

1 ITEM NO. 60-E-6 DUTY 99,275,000 BTU/HR

2 SERVICE 60-C-11 RECYCLE COMPRESSOR CODE HEI AND ASME YMAIX JOB NO. 454504

CONDENSER VENDOR GRAHAM MFG. CO., INC. TYPE FIXED TUBESHEET (AEL)

3 REMOVAL EQUIPMENT VENDOR GRAHAM MFG. CO., INC. TYPE TWO STAGE-TWIN ELEMENT

PERFORMANCE CONDITIONS

	SHELL SIDE	TUBE SIDE
7 STEAM CONDENSED	<u>104,500</u> LBS/HR	COOLING WATER, SOURCE & QUANTITY <u>7950</u> GPM
8 STEAM INLET TEMP.	<u>125</u> °F	COOLING WATER, INLET TEMP. <u>90</u> °F
9 CONDENSATE DEPRESSION	°F	COOLING WATER, OUTLET TEMP. <u>115</u> °F
10 ABS. PRESS. AT INLET	<u>4</u> IN. HG	COOLING WATER, INLET PRESS. <u>55</u> PSIG
11 BAROMETRIC PRESS.	<u>30</u> IN. HG	COOLING WATER, OUTLET PRESS. <u>40</u> PSIG
12 AIR-VAPOR OUTLET TEMP.	°F	COOLING WATER, HEAD LOSS <u>20.5</u> FT. <u>8.9</u> PSI
13 NON-CONDENSABLE GASES, INLET STEAM	CC/LITER	VELOCITY IN TUBES <u>8.5</u> FT/SEC
14 NON-CONDENSABLE GASES, CONDENSATE	CC/LITER	LMTD <u>19.95</u> CORR. TRANSFER RATE <u>683</u>
15 INLET STEAM VELOCITY	FT/SEC	TUBE CLEANLINESS FACTOR <u>85</u> %
16 PRESS. REG. SH. <u>10 1/2</u> VAC. PSIG TEST <u>15</u>	PSI	WTR. BOX PRESS. DESIGN <u>125</u> PSIG TEST <u>135</u> PSI

CONSTRUCTION DETAILS

17 SHELL DIA. <u>67</u> IN. HEIGHT <u>96</u> IN. WIDTH <u>77</u> IN.	EFFECTIVE SURF., INCL. AIR COOL. SECT. <u>7246</u> FT <sup>2</sup>
18 SHELL CROSS SECT. AREA	TOTAL TUBES <u>1988</u>
19 THICKNESS, SHELL	NO. TUBE SIDE PASSES <u>2</u>
20 TUBE SUPPORTS, NO.	TUBE O.D., GAUGE & LENGTH <u>3/4</u> IN. <u>16</u> BWG <u>228</u> IN.
21 SHELL EXPANSION JOINT	TUBE PITCH
22 PACKED TUBE SHEET	DIVIDED WATER BOX
23 BONDED TUBES	WEIGHT OF CONDENSER, EMPTY <u>43,300</u> LBS
24 HOT WELL, TYPE & CAPACITY <u>BATH TUB (15 MIN.)</u>	WEIGHT OF CONDENSER, OPERATING <u>56,117</u> LBS
25 SOURCE OF STEAM, (TURNING) PROCESS	WEIGHT OF CONDENSER, FLOODED <u>76,700</u> LBS
26 TUBES FURN. BY <u>VENDOR</u>	NOZZLES **
27 INC. JET FURN. BY <u>VENDOR</u>	TUBE SIDE
28 CONDENSATE PUMP FURN. BY <u>PEMEX</u>	SHELL SIDE
29 ATMOS. REL. VALVE FURN. BY & SIZE <u>VENDOR</u>	INLET <u>2x20" ISO#RF</u>
30 TUBING TO COND. EXPAN. JOINT FURN. BY <u>PEMEX</u>	OUTLET <u>2x20" ISO#RF</u>
31 SPRINGS, JACKS & PLATES FURN. BY <u>PEMEX</u>	DRAIN
	VENT
	RELIEF <u>18" ISO#RF</u>

MATERIALS OF CONSTRUCTION

TUBES <u>ADMIRALTY</u>	SHELL <u>C. STL.</u>	BAFFLES <u>C. STL.</u>
TUBE SHEETS <u>N R B</u>	WATER BOX <u>(2)</u>	SHELL GASKETS
TUBE SUPPORTS <u>C. STL.</u>	WATER BOX COVER <u>↑</u>	WATER BOX GASKETS

AIR REMOVAL EQUIPMENT

PERFORMANCE CONDITIONS

	FIRST STAGE	SECOND STAGE
ABS. PRESS. & TEMP. @ INLET	IN. HG. °F	3 IN. HG. °F
DRY AIR & TOT. FLUID EVACUATED <u>2</u>	<u>33.8</u> LBS/HR <u>121</u> LBS/HR	
EJECTOR STEAM, PRESS. & TEMP. <u>1</u>	<u>65</u> PSIG <u>312</u> °F	<u>65</u> PSIG <u>312</u> °F
EJECTOR STEAM, QUANTITY <u>3</u>	<u>376</u> LBS/HR	<u>376</u> LBS/HR
COOLING WTR., SOURCE & QUANTITY	<u>CONDENSATE, 209</u> GPM	<u>CONDENSATE, 209</u> GPM
COOLING WTR., HEAD LOSS	FT. PSI	FT. PSI
COOLING WTR., TEMP., IN & OUT	<u>125</u> °F	°F
HORIZING EJECT. VAC. & STEAM QUANTITY	IN. HG. °F	°F

CONSTRUCTION DETAILS

CONDENSER EFFECTIVE SURF. (COMBINED)	FT <sup>2</sup>	FT <sup>2</sup>
SIZE SHELL & NO. TUBES	IN.	IN.
TUBE O.D., GAUGE & LENGTH	<u>3/4</u> IN. <u>16</u> BWG	IN. <u>3/4</u> IN. <u>16</u> BWG
NO. OF EJECTOR ELEMENTS	<u>FOUR</u>	
DRAIN	DRAINER LOOP SEAL	
AL. VENT AIR REMOVAL EQUIP., EMPTY <u>2,105</u>	LBS: OPERATING <u>2,330</u>	LBS: FLOODED <u>2,780</u>

MATERIALS OF CONSTRUCTION

TUBES <u>ADMIRALTY</u>	SHELL <u>C. STL.</u>	STEAM NOZZLES <u>TP 30WSS</u>
TUBE SHEETS <u>MUNTZ</u>	WATER BOX <u>C. STL.</u>	DIVIDER & BOOT <u>C. STL.</u>
REMARKS: <u>1) PROVIDE A RECTANGULAR 67" x 92" STEAM INLET. (2) PROTECTED AGAINST GALVANIC CORROSION WITH SACRIFICIAL ANODES.</u>		

Anexo 3. Hojas de especificaciones de la turbina de vapor 60-T-6A

FLUOR

SHEET NO. 60-T-6A REV. 3  
 JOB NO. 454504 DATE 9-14-75  
 BY DDT CHK'D.  
 P.O. NO. 454518-4-0609-02

3-5-78 AS BUILT DW SPECIFICATION SHEET  
8-5-74 REVISE FOR PURCHASE.  
1/29/74, REVISE TURB. TYPE & STEAM CONDITIONS.

GENERAL PURPOSE STEAM TURBINE

NOTE:  INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER;  BY MANUFACTURER  
 PARAGRAPH NUMBERS WITHIN ( ) REFER TO APPLICABLE PART OF API STANDARD #11

---

FOR PEMEX UNIT DATA FINER  
 SITE LACANHEJERA VERACRUZ SERIAL NO. 40681 A NO. REQUIRED 1  
 SERVICE CONDENSATE PUMP DRIVERS DRIVEN EQUIPMENT CENTRIFUGAL PUMP  
 MANUFACTURER TERRY MODEL ZVS

OPERATING CONDITIONS				PERFORMANCE AT NORMAL STEAM CONDITIONS			
CONDITION	HORSEPOWER	SPEED, RPM		CONDITION	STEAM RATES	HAND VALVE POSITION	
					LB/HP/HR <th>NO. OPEN</th> <th>NO. CLOSED</th>	NO. OPEN	NO. CLOSED
RATED	23.3	1770		RATED	102.4 <u>A</u>	0	0
NORMAL	20.7	1770		NORMAL	106.6		

STEAM CONDITIONS CONDENSATE

STEAM	MAX.	NORMAL	MIN.
INLET PSIG	350	265	240
TEMP °F	570	510	490
EXHAUST PSIG/IN HG ABS <u>A</u>	70	65	60

MAX. EXHAUST CASING PRESSURE 75 PSIG

OTHER OPERATING CONDITIONS

HORSEPOWER	RPM	P <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
A				
B				

NO. HAND VALVES FOR:  NORMAL  RATED  A  B (30s)  
 ROTATION FACING GOVERNOR END  CW  CCW  
 COOLING WATER PSIG 50 °F 90 MAX ΔP 15 (10s)  
 WINTERIZATION  
 DRIVEN EQUIP. THRUST LPM: UP — DOWN 1334  
 SERVICE:  CONTINUOUS  INTERMITTENT  STANDBY

ACCESSORIES

GOV. TYPE:  NEMA CLASS A (30s-7)  
 MECH  HYDR  OIL RELAY  
 ADJUSTABLE SPEED RANGE PLUS 5 % MINUS 15 %  
 HAND SPEED CHANGER (30s)  
 ELECTRICAL HAZARD CLASS 1 OR D DIV. 2 (6)  
 REMOTE TRIP SIGNAL (30m)  
 BASEPLATE  SOLEPLATE BY: (10s)  
 EXTENDED FOR GEAR  FOR DRIVEN MACHINE  
 GLAND CONDENSER MOUNTED (15s)  
 MOUNT COUP. HALF  TAPER SHAFT  STRAIGHT (10m-1)  
 INSULATION  JACKET  SENSIBEL WARNING VALVE

TESTS AND INSPECTION

W = REQUIRED W = WITNESSED  
 INSPECTION:  SURFACE  PARTS (31c)  
 NO-LOAD RUN  DISASSEMBLY AFTER TEST  
 HYDR INLET  675 PSIG EXH CASE  112 PSIG  
 PERFORMANCE  AUX. EQUIP.  
 GOV RESPONSE TO CONTROL SIGNAL  
 TEST DATA SHEETS REQUIRED  
 OUTLINE DWG NO. \_\_\_\_\_ SECTION DWG NO. \_\_\_\_\_

CONNECTIONS

CONNECTION	SIZE	ANS RATING	FACING	POSITION
INLET	2	600	RF	SIDE
EXHAUST	4	150	FF	SIDE
DRAINS	1/2	NPT		
COOLING WATER	1/2	NPT		

GEARS

GEAR FURNISHED BY \_\_\_\_\_ (23s-1)  
 TYPE \_\_\_\_\_ RATIO \_\_\_\_\_  
 NOTE: FOR ADDITIONAL GEAR INFORMATION SEE DATA SHEET FROM API STD #11

MATERIALS

HIGH-PRESS. CASE STL EXH CASE STL  
 NOZZLES S.S. WHEELS FORGED STL  
 SHAFT STL UNDER PACKING  
 GOV VALVE TRIM S.S.

CONSTRUCTION FEATURES

TURBINE TYPE:  VERT  HORIZ SUPPORT:  CL  FT (7)  
 CASING SPLIT:  VERT  HORIZ  NO STAGES  
 SGL STAGE:  2 ROW  3 ROW  BENTRY  WHEEL DIA. 18  
 TRIP VALVE:  INTEGRAL  SEPARATE  MECH  HYDR  
 INTERSTAGE GLAND SEALS:  CARBON  LABYRINTH (15s)  
 END-GLAND SEAL:  CARBON  LABYRINTH RINGS/BOX 4 A  
 TURBINE WEIGHT 1500 POUNDS

SEARINGS AND LUBE SYSTEM

RADIAL BALL  THRUST BALL  
 PRESSURE LUBE  RING OILED  PURCHASER'S SYSTEM  
 OTHER FLOODED  
 CORROSION-RESISTANT OIL DRAIN LINES (12p)

API STANDARD #11 GOVERNS UNLESS OTHERWISE NOTED.  
 FLUOR SPECIFICATION 57-454504-46-10 APPLIES.  
 INSTRUMENTATION SHALL BE IN SI METRIC UNITS.

FORM E-565 REV. 1/72





Anexo 4. Hojas de especificaciones de la bomba 60-P-6A

FLUOR CORPORATION  
SPECIFICATION SHEET  
**CENTRIFUGAL PUMP**

2-24-77 REVISE FOR PURCH. (SEE)  
 2-5-76 REVISE FOR PURCH. (SEE)  
 4-16-76 REVISE MATL. & DRIVER 3-8-78 AS BUILT DWG  
 3-11-76, REVISE HYDRAULIC CONDITIONS  
 1-29-76, REVISE HYDRAULIC COND. & PUMP TYPE

NOTE: O INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER.  
 BY MANUFACTURER

SHEET NO. 60-P-6 REV. 7  
 JOB NO. 454504 DATE 9-14-75  
 BY DDT CHK'D.  
 P.O. NO. 454518-4-0609-02

FOR PEMEX SITE LOZANGUEJERA, VFRACUOB  
 UNIT OCTAFINER SERVICE CONDENSATE PUMPS

NO. PUMPS REQ'D 2 NO. MOTORS REQ'D 1 ITEM NO. 60-P-6A PROVIDED BY PUMP MER MTD BY PUMP MER  
 NO. TURBINES REQ'D 1 ITEM NO. 60-P-6A PROVIDED BY PUMP MER MTD BY PUMP MER  
 PUMP MFR. GOULDS SIZE AND TYPE 4X9CLC, VICT SERIAL NO. T 303943/A

OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP				PERFORMANCE	
LIQUID <u>VACUUM</u>	U.S. GPM @ FT. HOB	<u>210</u>	RATED	<u>230</u>	PROPOSAL CURVE NO. <u>1126</u>
<u>CONDENSATE</u>	DISCH. PRESS., PSIG	<u>100</u>		<u>100</u>	SPM <u>1770</u> NPSH (WATER) <u>-2'</u>
FT. HOB <u>125</u> MAX <u>150</u>	SUCT. PRESS., PSIG MAX	<u>10</u>	RATED	<u>-13</u>	EFF. <u>73%</u> BHP RATED <u>20.7</u>
SP. GR. @ FT. <u>0.98</u>	DIFF. PRESS., PSI	<u>113</u>		<u>113</u>	MAX. BHP RATED IMP <u>29.3</u>
VAP. PRESS. @ FT. PSIA <u>1.9</u>	DIFF. HEAD, FT	<u>266</u>		<u>266</u>	MAX. HEAD RATED IMP <u>373</u>
VIS. @ FT. SW <u>CP 0.58</u>	NPSHA, FT	<u>3</u>		<u>3</u>	MIN. CONTINUOUS GPM <u>20</u>
CORR./EROS. CAUSED BY	HYD. HP	<u>15</u>		<u>15</u>	ROTATION (VIEWED FROM CPLD END) <u>CCW</u>

CONSTRUCTION					SHOP TESTS	
NOZZLES	SIZE	RATING	RACING	LOCATION	<input checked="" type="checkbox"/> NON-WIT. PEEP	<input type="checkbox"/> WIT. PEEP
SUCTION	<u>6</u>	<u>150</u>	<u>RF</u>	<u>SIDE</u>	<input checked="" type="checkbox"/> NON-WIT. HYDRO	<input type="checkbox"/> WIT. HYDRO
DISCHARGE	<u>4</u>	<u>150</u>	<u>RF</u>	<u>SIDE</u>	<input type="checkbox"/> MPH REQ'D	<input type="checkbox"/> WIT. MPH
<input type="checkbox"/> EAST-MOUNT <input type="checkbox"/> CENTERLINE <input type="checkbox"/> FOOT <input type="checkbox"/> BRACKET <input checked="" type="checkbox"/> VERT. (TYPE) <u>CRN</u> SPLIT: <input type="checkbox"/> AXIAL <input checked="" type="checkbox"/> RAD. TYPE VOLUTE <input type="checkbox"/> SOL <input type="checkbox"/> DBL <input checked="" type="checkbox"/> DIFFUSER PRESS: <input checked="" type="checkbox"/> MAX. ALLOW. <u>183</u> PSIG <u>300</u> "H" <input checked="" type="checkbox"/> HYDRO TEST <u>275</u> PSIG CONNECT: <input checked="" type="checkbox"/> VENT <input type="checkbox"/> DRAIN <input type="checkbox"/> GAGE IMPELLER DIA. <input checked="" type="checkbox"/> RATED <u>5 1/16</u> MAX. <u>6.12</u> TYPE <u>SLD</u> MOUNT: <input type="checkbox"/> BETWEEN BRGS <input type="checkbox"/> OVERHUNG <input checked="" type="checkbox"/> NO. OF STAGES <u>9</u> BEARINGS-TYPE: <input checked="" type="checkbox"/> RADIAL <u>SLEEVE</u> <input type="checkbox"/> THRUST <u>IN DRIVER</u> LUBE: <input type="checkbox"/> MINO OIL <input type="checkbox"/> FLOOD <input type="checkbox"/> OIL MIST <input type="checkbox"/> FLINGER <input type="checkbox"/> PRESSURE COUPLING: <input checked="" type="checkbox"/> MFR <u>GOULDS</u> <input type="checkbox"/> MODEL <u>TYPE AS, SPALER</u> DRIVER HALF MTD BY: <input checked="" type="checkbox"/> PUMP MFR <input type="checkbox"/> DRIVES MFR <input type="checkbox"/> PURCHASER PACKING: <input type="checkbox"/> MFR & TYPE <input type="checkbox"/> SIZE/NO. OF RINGS MECH. SEAL: <input checked="" type="checkbox"/> MFR & MODEL <u>DURA PTO 19</u> AM CLASS CODE <u>BSTFL/M</u> <input type="checkbox"/> MFR CODE <u>EUSEF/VV</u>					<input checked="" type="checkbox"/> SHOP INSPECTION	<input type="checkbox"/> DISMANT. & INSP. AFTER TEST
					<input checked="" type="checkbox"/> OTHER NON-WIT. VIBRATION TEST	

MATERIALS

PUMP, CASE/TRIM CLASS B  
316 SS - BOWLS, IMP, DISCH. HEAD  
304 SS - BARREL  
11-13% CR - WEAR RING  
414 S.S. - SHAFT

CASEPLATE B

VERTICAL PUMPS A

CAN. LENGTH 9'  
 NO. OR GUMPT. DEPTH 9'

MIN. SUBMERGENCE REQ'D B

COLUMN PIPE:  FLANGED  THREADED  
 IME SHAFT:  IN  ENCLOSED  
 BRGS:  DOWN CRS  LINE SHAFT NONE  
 PRO. LUB:  WATER  OIL  GREASE  
 FLOAT & ROD:  C.S.  O.S.  BAR NONE  
 FLOAT SWITCH   
 PUMP THRUST, UP  UP  DOWN 1334

MOTOR DRIVER A

HP 25 RPM 1770 FRAME 250LPY VOLTS/PHASE/CYCLES 460/3/60  
 MFR WEST BEARING BALL LUBE GREASE  
 TYPE INDUCTION INSUL B FULL LOAD AMPS 32.0  
 ENC TREK TEMP RISE C LOCKED ROTOR AMPS 183  
 VHS  VHS VERT. THRUST CAP. LB 2600 MTR. ITEM NO. 6074 DM

APPROX. WT. PUMP & CASE 1360  
 MOTOR 405 TURBINE 500

APPLICABLE TO: PROPOSALS  PURCHASE  AS SHOWN

API STANDARD 610 GOVERNS UNLESS OTHERWISE NOTED.  
 FLUOR SPECIFICATION SP-HENKON-46-1 APPLIES.  
 (R) REFERENCE AT FOUNDATION.

PRINTED IN U.S.A. FORM E-888 REV. 10/71



CURVES SHOW APPROXIMATELY THE CHARACTERISTICS WHEN PUMPING CLEAN NON-AERATED WATER. NO GUARANTEE IS MADE EXCEPT FOR THE RATED POINT

NOTE: No. COLUMN LEGS ARE INCLUDED

PEMEX / FLUOR  
 RO. No. 454518-4-0609-02  
 ITEM NO. 60-P-6A REV. 5  
 S.O. No. T303948

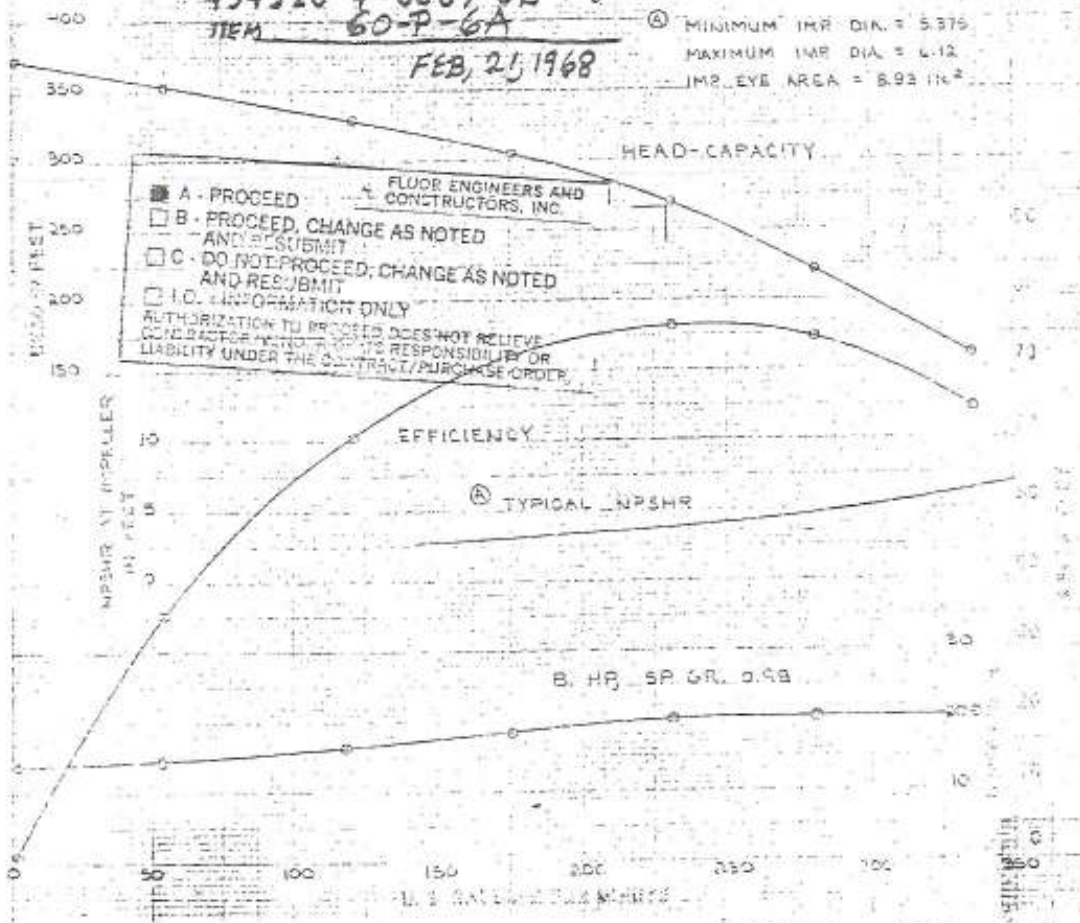
NO. OF LEGS	NO. OF LEGS	NO. OF LEGS
AS FOLLOWS	AS FOLLOWS	AS FOLLOWS

FLUOR

VIBRATION = 1.2 MILS. ON SHAFT  
 ABOVE STUFFING BOX AT 231.3 GPM

454518-4-0609-02-26-1  
 ITEM 60-P-6A  
 FEB, 21, 1968

MINIMUM IHR DIA. = 5.375  
 MAXIMUM IHR DIA. = 6.12  
 IMP. EYE AREA = 8.93 IN<sup>2</sup>



STATUS: CLOSED

DATE: \_\_\_\_\_

BY: \_\_\_\_\_

REVISIONS: \_\_\_\_\_

**GOULD PUMPS**  
 VERTICAL PUMP DIVISION  
 INDUSTRY, CALIFORNIA

REF. OR. NO. \_\_\_\_\_

DATE: \_\_\_\_\_

BY: \_\_\_\_\_

1770

2-15-77

26

Anexo 5. Hojas de especificaciones del compresor 60-C-1

**AS BUILT**  
 FLUOR CORPORATION  
 SPECIFICATION SHEET  
**CENTRIFUGAL COMPRESSOR**

JOB NO. 454534 ITEM NO. 60-C-1  
 PURCH. ORDER NO. 454534-1-0301 DATE 4/29/77  
 REQUISITION NO. 4-031  
 INQUIRY NO. 0301-4-454534  
 PAGE 1 OF 14 BY RLP

---

APPLICABLE TO:  PROPOSAL  PURCHASE  AS BUILT DATE 6/15/77 REVISION 1A

FOR PEMEX UNIT OCTAFINER

SITE LA CANGREJERA, MEXICO SERIAL NO. 230059/A508276E

SERVICE RECYCLE GAS COMPRESSOR NO. REQUIRED 1

MANUFACTURER FLUOR / EBARA OVERSEAS CO DRIVER STEAM TURBINE

NOTE:  INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER;  BY MANUFACTURER

**OPERATING CONDITIONS**

(ALL DATA ON PER UNIT BASIS)

	NORMAL	RATED	OTHER CONDITIONS				
			A	B	C	D	
<input checked="" type="checkbox"/> GAS HANDLED (ALSO SEE PAGE 2)	H <sub>2</sub> +	H <sub>2</sub> +	N <sub>2</sub>				
<input checked="" type="checkbox"/> MMSCFD (14.7 PSIA & 60°F DRY)	461.5	461.5	114				
<input checked="" type="checkbox"/> WEIGHT FLOW, LB/MIN (DRY)	5361	5761	6666				
<b>INLET CONDITIONS:</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> PRESSURE (PSIA)	228	224	95				
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURE (°F)	115	115	100				
<input type="checkbox"/> RELATIVE HUMIDITY (%)	-	-	-				
<input checked="" type="checkbox"/> MOLECULAR WEIGHT (M)	6.34	6.34	28.0				
<input checked="" type="checkbox"/> Cp/Cv (K <sub>1</sub> )	1.345	1.345	1.40				
<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z <sub>1</sub> )	1.003	1.003	1.00				
<input checked="" type="checkbox"/> INLET VOLUME, ICFM-WET	22930	23340	15000				
<b>DISCHARGE CONDITIONS:</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> PRESSURE (PSIA)	293	307	220				
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURE (°F)	165	177	312				
<input checked="" type="checkbox"/> Cp/Cv (K <sub>2</sub> )	1.336	1.335	1.40				
<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z <sub>2</sub> )	1.005	1.006	1.0				
<input checked="" type="checkbox"/> SHP REQUIRED (ALL LOSSES INCL)	8310	10290	7918				
<input checked="" type="checkbox"/> SPEED (RPM)	5554	6015	4630				
<input checked="" type="checkbox"/> ESTIMATED SURGE, ICFM (AT SPEED ABOVE)	10000	10700	7500				
<input checked="" type="checkbox"/> POLYTROPIC HEAD (FT)	37,160	46,729	30,350				
<input checked="" type="checkbox"/> POLYTROPIC EFFICIENCY (%)	77.6	74.3	75.6				
<input checked="" type="checkbox"/> GUARANTEE POINT		✓					
<input checked="" type="checkbox"/> PERFORMANCE CURVE NO.							

**PROCESS CONTROL:**

METHOD:  BYPASS FROM \_\_\_\_\_ TO \_\_\_\_\_

ANTI-SURGE BYPASS:  MANUAL  AUTO

SUCTION THROTTLING FROM \_\_\_\_\_ TO \_\_\_\_\_

SPEED VARIATION FROM 4500 RPM TO 6315 RPM

OTHER \_\_\_\_\_

SIGNAL:  SOURCE \_\_\_\_\_

TYPE \_\_\_\_\_

RANGE: FOR PNEUMATIC CONTROL 4500 RPM ± 3 PSIG & 6315 RPM ± 15 PSIG

OTHER \_\_\_\_\_

REMARKS:

Unit shall be capable of 110% Capacity @ Rated head  
\* Revised Per Performance test data

PRINTED IN U.S.A. FORM F-03A REV. 7/73

FLUOR CORPORATION  
 SPECIFICATION SHEET  
 CENTRIFUGAL COMPRESSOR (Contd)

JOB NO. 454504 ITEM NO. 60-C-1  
 PAGE 2 OF 12 BY ELP/SA  
 DATE 8/15/77 REVISION 4

GAS ANALYSIS		NORMAL	RATED	OTHER CONDITIONS				REMARKS
<input checked="" type="checkbox"/> MOL %	<input type="checkbox"/> —			A	B	C	D	
	M.W.			*				
AIR	28.966							
OXYGEN	32.000							
NITROGEN	28.016		100					* Catalyst Regeneration
WATER VAPOR	18.016							
CARBON MONOXIDE	28.010							
CARBON DIOXIDE	44.010							
HYDROGEN SULFIDE	34.076							
HYDROGEN	2.016	77.56	77.56					
METHANE	16.042	18.66	18.66					
ETHYLENE	28.032	—	—					
ETHANE	30.068	1.72	1.72					
PROPYLENE	42.078	—	—					
PROPANE	44.094	0.93	0.93					
I-BUTANE	58.120	0.25	0.25					
II-BUTANE	58.120	0.38	0.38					
I-PENTANE	72.146	0.10	0.10					
II-PENTANE	72.146	0.04	0.04					
HEXANE PLUS	100.5	0.36	0.36					
TOTAL		100.0	100.0	100				
AVG. MOL. WT.		6.34	6.34	28.0				

<p>LOCATION:</p> <input type="checkbox"/> INDOOR <input type="checkbox"/> HEATED <input checked="" type="checkbox"/> UNDER ROOF <input type="checkbox"/> OUTDOOR <input checked="" type="checkbox"/> UNHEATED <input type="checkbox"/> PARTIAL SIDES <input type="checkbox"/> GRADE <input checked="" type="checkbox"/> MEZZANINE <input type="checkbox"/> _____ <input checked="" type="checkbox"/> ELECTRICAL AREA CLASS <u>1</u> OR <u>B</u> DIV. <u>II</u> <input type="checkbox"/> WINTERIZATION REED. <input checked="" type="checkbox"/> TROPICALIZATION REED.	<p>NOISE SPECIFICATIONS:</p> <input type="checkbox"/> APPLICABLE TO MACHINE: SEE SPECIFICATION _____ <input type="checkbox"/> APPLICABLE TO NEIGHBORHOOD SEE SPECIFICATION _____ ACOUSTIC HOUSING: <input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO															
<p>SITE DATA:</p> <input checked="" type="checkbox"/> ELEVATION <u>66</u> FT.    BAROMETER <u>14.7</u> PSIA <input checked="" type="checkbox"/> RANGE OF AMBIENT TEMPS.: <table border="1"> <tr> <td></td> <td>DRY BULB</td> <td>WET BULB</td> </tr> <tr> <td>SITE RATED °F</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NORMAL °F</td> <td><u>77.9</u></td> <td><u>62</u></td> </tr> <tr> <td>MAXIMUM °F (AVG.)</td> <td><u>101.5</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MINIMUM °F (AVG.)</td> <td><u>67.1</u></td> <td></td> </tr> </table>		DRY BULB	WET BULB	SITE RATED °F			NORMAL °F	<u>77.9</u>	<u>62</u>	MAXIMUM °F (AVG.)	<u>101.5</u>		MINIMUM °F (AVG.)	<u>67.1</u>		<p>APPLICABLE SPECIFICATIONS:</p> API 617 CENTRIFUGAL COMP. FOR GEN. REFINERY SERVICES. <u>Fluor Sp-454504-43-1</u> <u>Fluor Sp-454504-43-3</u> <u>Fluor Sp-454504-43-100</u> <u>Fluor Sp-454504-43-4</u>
	DRY BULB	WET BULB														
SITE RATED °F																
NORMAL °F	<u>77.9</u>	<u>62</u>														
MAXIMUM °F (AVG.)	<u>101.5</u>															
MINIMUM °F (AVG.)	<u>67.1</u>															
<p>UNUSUAL CONDITIONS:</p> <input type="checkbox"/> DUST <input type="checkbox"/> FUMES <input type="checkbox"/> OTHER <u>* ALSO SEE d 264</u>	<p>PAINTING:</p> <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURER'S STD. <input type="checkbox"/> OTHERS _____															
<p>REMARKS:</p>   	<p>SHIPMENT:</p> <input type="checkbox"/> DOMESTIC <input checked="" type="checkbox"/> EXPORT <input checked="" type="checkbox"/> EXPORT BOXING RECD. <input checked="" type="checkbox"/> OUTDOOR STORAGE OVER 3 MONTHS															

PRINTED IN U.S.A.

FORM E-523B REV. 7/71



FLUOR CORPORATION  
SPECIFICATION SHEET  
CENTRIFUGAL COMPRESSOR (Contd)

JOB NO. 454504 ITEM NO. 60-C-1  
PAGE 3 OF 14 BY RLP/JA  
DATE 8/15/77 REVISION 4

CONSTRUCTION FEATURES

SPEEDS:  
MAX. CONT. 6540 RPM TRIP 7200 RPM  
CRITICALS: 1ST 3360 RPM 2ND 7850 RPM  
MAX. TIP SPEEDS: 787 FPS @ RATED SPEED  
856 FPS @ MAX. CONT. SPEED

ROTATION, VIEWED FROM DRIVEN END: CCW

CASING:  
MODEL 46MB5  
CASING SPLIT: VERTICAL  
MATERIAL STEEL (FORGED)  
THICKNESS (IN.) \_\_\_\_\_ CORR. ALLOW. (IN.) 1/8"  
MAX. WORK. PRESS. 600 PSIG MAX. DESIGN PRESS. 600 PSIG  
TEST PRESS (PSIG): HELIUM 600 HYDRO 900  
MAX. OPER. TEMP. 350 °F MIN. OPER. TEMP. 50 °F  
MAX. NO. OF IMPELLERS FOR CASING 5  
MAX. CASING CAPACITY (ICFM) 35,000  
RADIOGRAPH QUALITY  YES  NO  
SPOT ALL BUTT WELDS

DIAPHRAGMS:  
MATERIAL CAST IRON

IMPELLERS:  
NO. 5 DIAMETERS 2-30", 3-29.36"  
TYPE (OPEN, ENCLOSED, ETC.) CLOSED  
TYPE FABRICATION WELDED  
MATERIAL AISI-4140 HUBS & COVERS  
MAX. YIELD STRENGTH (PSI) 120,000  
BRINELL HARDNESS: MAX. 321 MIN. 269  
SMALLEST TIP INTERNAL WIDTH (IN.) 1.39  
MAX. MACH NO. @ IMPELLER EYE 0.3  
MAX. IMPELLER HEAD @ RATED SPEED (FT.) 10,101

SHAFT:  
MATERIAL AISI-4340  
DIA. @ IMPELLERS (IN.) 9.08 DIA. @ COUPLING (IN.) 4  
SHAFT END:  TAPERED  CYLINDRICAL  
2 KEYS

SHAFT SLEEVES:  
 AT INTERSTG. CLOSE CLEAR. PTS.  NATL. 410 S1  
 AT SHAFT SEALS  NATL. 410 S5

LABYRINTHS:  
TYPE Stationary MATERIAL ALUMINUM

SHAFT SEALS:  
 TYPE ELLIDT 150-SLEEVE  
 SEAL SYSTEM TYPE Combined  
 INNER OIL LEAKAGE GUAR. (OAL/DAY/TOT) 40 W/70% Sp  
 TYPE BUFFER GAS  
 BUFFER GAS FLOW (PER SEAL):  
NORMAL: \_\_\_\_\_ #/MIN @ \_\_\_\_\_ PSI ΔP  
MAX.: \_\_\_\_\_ #/MIN @ \_\_\_\_\_ PSI ΔP

REMARKS:

BEARING HOUSING CONSTRUCTION:  
TYPE (SEPARATE, INTEGRAL) SEPARATE SPLIT HORIZ  
MATERIAL CAST STEEL

RADIAL BEARINGS:  
TYPE TILT PAD SPAN (IN.) 87.2  
AREA (IN.<sup>2</sup>) N/A LOADING (PSI): ACT. N/A ALLOW. N/A

THRUST BEARING:  
LOCATION OUTBOARD TYPE DBL KINGSBURY  
MFR. DAIDO AREA (IN.<sup>2</sup>) 31.8  
LOADING (PSI): ACTUAL 120 ALLOWABLE 795  
GAS LOADING (LBS/IN.<sup>2</sup>) 17730 CPLG. SLIP LOAD (LBS) \_\_\_\_\_  
CPLG. COEFF. FRICT. \_\_\_\_\_ CPLG. GEAR PITCH DIA. (IN.) \_\_\_\_\_  
BAL. PISTON COMPENSATING LOAD 11490 LBS.

BRAIN CONNECTIONS:

	SIZE	RATING	FACING	POSITION
INLET	30	600 MBS	RF SF	UP
DISCHARGE	20	600 ANSI	RF SF	UP

ALLOWABLE PIPING FORCES AND MOMENTS: 1.85 X NEMA

	INLET		DISCHARGE		FORCE LB	MOMT LB
	FORCE LB	MOMT LB	FORCE LB	MOMT LB		
AXIAL						
VERTICAL						
HORIZ. 90°						
AXIAL						
VERTICAL						
HORIZ. 90°						

OTHER CONNECTIONS:

SERVICE	NO.	SIZE	(ANSI-TPI)	
			TYPE	
LUBE OIL INLET	1	2"	150°	RF
LUBE OIL OUTLET	1	6"	150°	RF
SEAL OIL INLET	2	1/2"	300°	RF
SEAL OIL OUTLET	2	1/2"	300°	RF
CASING DRAINS	3	1"	600°	RF
STAGE DRAINS	3	3/4"	700°	RF
VENTS (TRAPS)	1	1"	150°	RF
COOLING WATER			(See Coolers)	
PRESSURE	-	-	-	-
TEMPERATURE	-	-	-	-
PURGE FOR:	-	-	-	-
BRG. HOUSING	-	-	-	-
BETWEEN BRG. & SEAL	-	-	-	-
BETWEEN SEAL & GAS	-	-	-	-
SOLVENT INJECTION	-	-	-	-

4  
14

4  
14

4

4

FLUOR CORPORATION  
SPECIFICATION SHEET  
CENTRIFUGAL COMPRESSOR (Contd)

JOB NO. 45450A ITEM NO. 60-C-1  
PAGE 4 OF 14 BY RLP/JA  
DATE 8/19/77 REVISION 4

<p><b>VIBRATION DETECTORS:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> TYPE <u>Non-Contact</u> MODEL <u>21504</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MFR. <u>Bentley</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> NO. AT EACH SHAFT BEARING <u>2</u> TOTAL NO. <u>4</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> OSCILLATOR-DETECTORS SUPPLIED BY <u>Vendor</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MFR. <u>Bentley-Nev</u> MODEL <u>18745</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MONITOR SUPPLIED BY <u>Fluor</u></p> <p><input type="checkbox"/> LOCATION _____ ENCLOSURE _____</p> <p><input type="checkbox"/> MFR. _____ MODEL _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SCALE RANGE (1) <u>0</u> ALARM: <input checked="" type="checkbox"/> SET @ <u>3</u> MILS</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SHUTDOWN: <input checked="" type="checkbox"/> SET @ <u>4</u> MILS <input type="checkbox"/> TIME DELAY _____ SEC.</p>		<p><b>SHOP INSPECTION AND TESTS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>REQD.</th> <th>WITNESS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>SHOP INSPECTION</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>HYDROSTATIC</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>HELIUM LEAK</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>MECHANICAL RUN</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>MECH. RUN SPARE ROTOR</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>FIT IN SPARE ROTOR</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>PERFORMANCE TEST (GAS)</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>COMP. WITH DRIVER</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>COMP. LESS DRIVER</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>USE SHOP LUBE &amp; SEAL SYS.</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>USE JOB LUBE &amp; SEAL SYS.</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>USE SHOP VIBRATION PROBES, ETC.</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>USE JOB VIB. &amp; AXIAL DISP. PROBES,</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>OSCILLATOR-DETECTORS &amp;</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>PRESSURE COMP. TO FULL OPER. PRESS (1000 MMHG)</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>DISASSEMBLE-REASSEMBLE COMP. AFTER TEST</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>CHECK BRGS &amp; SEALS AFTER TEST</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>NOISE LEVEL TEST</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td><u>PRE-RUN LFS SYSTEM</u></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table>			REQD.	WITNESS	SHOP INSPECTION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	HYDROSTATIC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	HELIUM LEAK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MECHANICAL RUN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MECH. RUN SPARE ROTOR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	FIT IN SPARE ROTOR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PERFORMANCE TEST (GAS)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	COMP. WITH DRIVER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	COMP. LESS DRIVER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	USE SHOP LUBE & SEAL SYS.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	USE JOB LUBE & SEAL SYS.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE SHOP VIBRATION PROBES, ETC.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE JOB VIB. & AXIAL DISP. PROBES,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OSCILLATOR-DETECTORS &	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PRESSURE COMP. TO FULL OPER. PRESS (1000 MMHG)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	DISASSEMBLE-REASSEMBLE COMP. AFTER TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CHECK BRGS & SEALS AFTER TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NOISE LEVEL TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>PRE-RUN LFS SYSTEM</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	REQD.	WITNESS																																																													
SHOP INSPECTION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
HYDROSTATIC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
HELIUM LEAK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
MECHANICAL RUN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
MECH. RUN SPARE ROTOR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
FIT IN SPARE ROTOR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
PERFORMANCE TEST (GAS)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
COMP. WITH DRIVER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
COMP. LESS DRIVER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
USE SHOP LUBE & SEAL SYS.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
USE JOB LUBE & SEAL SYS.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
USE SHOP VIBRATION PROBES, ETC.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
USE JOB VIB. & AXIAL DISP. PROBES,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
OSCILLATOR-DETECTORS &	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
PRESSURE COMP. TO FULL OPER. PRESS (1000 MMHG)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																													
DISASSEMBLE-REASSEMBLE COMP. AFTER TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
CHECK BRGS & SEALS AFTER TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
NOISE LEVEL TEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
<u>PRE-RUN LFS SYSTEM</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																													
<p><b>AXIAL MOVEMENT DETECTOR:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> TYPE <u>Non-Contact</u> MODEL <u>21504</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MFR. <u>Bentley-Nev</u> NO REQUIRED <u>1</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> OSCILLATOR-DETECTORS SUPPLIED BY <u>ELLIOTT/DARA</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MFR. <u>Bentley</u> MODEL <u>18745</u></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> MONITOR SUPPLIED BY <u>Fluor</u></p> <p><input type="checkbox"/> LOCATION _____ ENCLOSURE _____</p> <p><input type="checkbox"/> MFR. _____ MODEL _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SCALE RANGE (2) <u>0</u> ALARM: <input checked="" type="checkbox"/> SET @ _____ MILS</p> <p><input type="checkbox"/> SHUTDOWN: <input type="checkbox"/> SET @ _____ MILS <input type="checkbox"/> TIME DELAY _____ SEC.</p>		<p><b>REMARKS:</b> _____</p>																																																													
<p><b>COUPLINGS:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DRIVER-COMP.</th> <th>GEAR-COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> MAKE</td><td><u>Bendix (Nippon)</u></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> MODEL</td><td><u>67E414</u></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> LUBRICATION</td><td></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> MOUNT CPLG. HALVES</td><td><u>Yes</u></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SPACER REQD.</td><td><u>Yes</u></td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> LIMITED END FLOAT REQD.</td><td><u>-</u></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> IDLING ADAPTOR REQD.</td><td><u>NO</u></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> CPLG. RATING (HP/100 RPM)</td><td><u>375</u></td><td></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> KEYED HUB</td><td><u>2</u></td><td></td></tr> </tbody> </table>			DRIVER-COMP.	GEAR-COMP.	<input checked="" type="checkbox"/> MAKE	<u>Bendix (Nippon)</u>		<input checked="" type="checkbox"/> MODEL	<u>67E414</u>		<input type="checkbox"/> LUBRICATION			<input checked="" type="checkbox"/> MOUNT CPLG. HALVES	<u>Yes</u>		<input checked="" type="checkbox"/> SPACER REQD.	<u>Yes</u>		<input type="checkbox"/> LIMITED END FLOAT REQD.	<u>-</u>		<input checked="" type="checkbox"/> IDLING ADAPTOR REQD.	<u>NO</u>		<input checked="" type="checkbox"/> CPLG. RATING (HP/100 RPM)	<u>375</u>		<input checked="" type="checkbox"/> KEYED HUB	<u>2</u>		<p><b>WEIGHTS (LBS):</b></p> <p>COMPR. <u>6150</u> GEAR <u>-</u> DRIVER <u>3700</u> GASE <u>8210</u></p> <p>ROTORS: COMPR. <u>2910</u> DRIVER <u>4370</u> GEAR <u>-</u></p> <p>COMPR. <u>Bundle</u> <u>37270</u></p> <p>CONSOLE <u>48500</u> S.O. CONSOLE <u>-</u></p> <p>MAX. FOR MAINTENANCE (IDENTIFY) <u>37200</u></p> <p>TOTAL SHIPPING WEIGHT <u>106700</u></p>																															
	DRIVER-COMP.	GEAR-COMP.																																																													
<input checked="" type="checkbox"/> MAKE	<u>Bendix (Nippon)</u>																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> MODEL	<u>67E414</u>																																																														
<input type="checkbox"/> LUBRICATION																																																															
<input checked="" type="checkbox"/> MOUNT CPLG. HALVES	<u>Yes</u>																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> SPACER REQD.	<u>Yes</u>																																																														
<input type="checkbox"/> LIMITED END FLOAT REQD.	<u>-</u>																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> IDLING ADAPTOR REQD.	<u>NO</u>																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> CPLG. RATING (HP/100 RPM)	<u>375</u>																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> KEYED HUB	<u>2</u>																																																														
<p><b>BASEPLATE &amp; SOLEPLATES:</b></p> <p>SOLEPLATES FOR: <input type="checkbox"/> COMPRESSOR <input type="checkbox"/> GEAR <input type="checkbox"/> DRIVER</p> <p>BASEPLATE:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> COMMON (UNDER COMP. &amp; DRIVER) w/ CHECK BOLDS &amp; SWIMS</p> <p><input type="checkbox"/> UNDER COMP. ONLY <input type="checkbox"/> OTHER _____</p> <p><input type="checkbox"/> DECKED WITH NON-SKID DECK PLATE <input checked="" type="checkbox"/> OPEN CONSTR.</p> <p><input type="checkbox"/> DRIP RIM <input type="checkbox"/> WITH OPEN DRAIN</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> HORIZ. ADJUSTING SCREWS FOR EQUIPMENT</p> <p><input type="checkbox"/> SUITABLE FOR POINT SUPPORT</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SUITABLE FOR PERIMETER SUPPORT</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> NON-SKID PAINT</p>		<p><b>SPACE REQUIREMENTS (FEET &amp; INCHES: + 8 MILS)</b></p> <p>COMPLETE UNIT: L <u>23'-6"</u> W <u>10'-5"</u> H <u>9'-7"</u></p> <p>L.O. CONSOLE: L <u>282"</u> W <u>124"</u> H <u>104"</u></p> <p>S.O. CONSOLE: L _____ W _____ H _____</p>																																																													
<p><b>TOTAL UTILITY CONSUMPTION:</b></p> <p>COOLING WATER <u>386</u> GPM</p> <p>STEAM, NORMAL <u>-</u> #/HR</p> <p>STEAM, MAX. <u>24,247</u> #/HR</p> <p>INSTRUMENT AIR <u>10</u> SCFM</p> <p>HP (DRIVER) <u>11300</u> HP</p> <p>HP (AUXILIARIES) <u>75</u> HP</p>		<p><b>MISCELLANEOUS:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> RECOMMENDED STRAIGHT RUN OF PIPE DIAMETERS BEFORE SUCTION <u>3</u></p> <p><input type="checkbox"/> VENDOR'S REVIEW &amp; COMMENTS ON PURCHASER'S PIPING &amp; FOUNDATION</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> OPTICAL ALIGNMENT FLATS REQUIRED ON COMPRESSOR, &amp; DRIVER</p> <p><input type="checkbox"/> PROVISION FOR WATER WASHING BEFORE OPENING CASING BY _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> TORSIONAL ANALYSIS REPORT REQUIRED (RESULTS)</p>																																																													
<p>REMARKS: (1) SCALE RANGE <u>0-125</u> MICROMETERS</p> <p>(2) SCALE RANGE <u>600-0-600</u> MICROMETERS</p>																																																															

FLUOR CORPORATION  
SPECIFICATION SHEET  
**CENTRIFUGAL COMPRESSOR INSTRUMENTATION**

SHEET NO. 5 REV. 4  
DATE 8/15/77  
BY RCP CHK'D.

VENDOR MUST FURNISH ALL PERTINENT DATA FOR THIS SPECIFICATION SHEET BEFORE RETURNING.  
ITEM NO. 60-C-1 SERVICE Recycle Gas Compressor JOB NO. 454504  
MANUFACTURER ELLIOTT/EGARA

<b>REFERENCE SPECIFICATIONS:</b> FLUOR: <u>SP-454504-43-1</u> <u>Nema</u> <u>NEC</u> <u>JIS</u>	<b>AREA CLASSIFICATION:</b> <u>D264 + S15</u> CLASS: <u>1</u> GROUP <u>B</u> DIVISION <u>II</u> <b>MOTOR CONTROL &amp; INSTRUMENT VOLTAGE:</b> <u>115</u> VOLTS <u>1</u> PHASE <u>60</u> CYCLES <b>ALARM &amp; SHUTDOWN VOLTAGE:</b> <u>115</u> VOLTS <u>1</u> PHASE <u>60</u> CYCLES OR <u>DC</u>
---	---

**LOCAL CONTROL PANEL**

FURNISHED BY:  VENDOR  PURCHASER  OTHERS

FREE STANDING  WEATHERPROOF  TOTALLY ENCLOSED  EXTRA CUTOUTS

VIBRATION ISOLATORS  STRIP HEATERS  SURGE CONNECTIONS

ANNUNCIATOR: FURNISHED BY:  VENDOR  PURCHASER  OTHERS

ANNUNCIATOR LOCATED ON:  LOCAL PANEL  MAIN CONTROL BOARD

CUSTOMER CONNECTIONS BROUGHT OUT TO TERMINAL BOXES BY VENDOR

REMARKS:

**INSTRUMENT SUPPLIERS:**

PRESSURE GAGES:	MFR. <u>Ashcroft</u>	SIZE & TYPE	<u>4 1/2" 10792C</u>
TEMPERATURE GAGES:	MFR. <u>Ashcroft</u>	SIZE & TYPE	<u>5" 5002-42E</u>
LEVEL GAGES:	MFR. <u>BUNKA BAKKI</u>	SIZE & TYPE	<u>RU20/MODEL #1</u>
DIFF. PRESSURE GAGES:	MFR. <u>ASHCROFT</u>	SIZE & TYPE	<u>4 1/2 1379A-XR0/3V 1/2</u>
PRESSURE SWITCHES:	MFR. <u>UNITED ELECTRIC</u>	SIZE & TYPE	<u>J-110</u>
DIFF. PRESSURE SWITCHES:	MFR. <u>BARTON</u>	SIZE & TYPE	<u>6" 224</u>
TEMPERATURE SWITCHES:	MFR. <u>-</u>	SIZE & TYPE	<u>-</u>
LEVEL SWITCHES:	MFR. <u>Magnetrol/UNITED ELECTRIC</u>	SIZE & TYPE	<u>751/J-110</u>
CONTROL VALVES:	MFR. <u>MILGATA MASON NEILAN</u>	SIZE & TYPE	<u>VARIOUS</u>
PRESSURE RELIEF VALVES:	MFR. <u>MOTOYAMA</u>	SIZE & TYPE	<u>50-25/35</u>
THERMAL RELIEF VALVES:	MFR. <u>-</u>	SIZE & TYPE	<u>-</u>
SIGHT FLOW INDICATORS:	MFR. <u>DAIDO KOKI</u>	SIZE & TYPE	<u>CY</u>
GAS FLOW INDICATOR:	MFR. <u>-</u>	SIZE & TYPE	<u>-</u>
VIBRATION EQUIPMENT:	MFR. <u>Bentley - Nevada</u>	SIZE & TYPE	<u>-</u>
TACHOMETER:	MFR. <u>Air Pax</u>	RANGE & TYPE	<u>1-0005</u>
SOLENOID VALVES:	MFR. <u>ASCO</u>	SIZE & TYPE	<u>8211C8R</u>
ANNUNCIATOR:	MFR. <u>-</u>	MODEL & NO. POINTS	<u>-</u>
<u>TRANSFER VALVES</u>	<u>Hayward</u>		

**NOTE:**  SUPPLIED BY VENDOR       SUPPLIED BY PURCHASER

FUNCTION	LOCALLY MOUNTED		LOCAL PANEL		FUNCTION	LOCALLY MOUNTED		LOCAL PANEL	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Seal/LUBE OIL PUMP DISCHARGE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GOV. CONTROL OIL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seal/LUBE OIL FILTER ΔP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GOV. CONTROL OIL ΔP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seal/LUBE OIL SUPPLY	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	COUPLING OIL ΔP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SEAL OIL SUPPLY (EACH LEVEL)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MAIN STEAM IN	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SEAL OIL DIFFERENTIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1ST STAGE STEAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
REFERENCE GAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	STEAM CHEST	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
BALANCE LINE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	EXHAUST STEAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SEAL EDUCTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EXTRACTION STEAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BUFFER SEAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	STEAM EJECTOR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<u>Balance Piston PI</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	COMPRESSOR SUCTION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
					COMPRESSOR DISCHARGE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



4 FLOOR  
SPECIFICATION SHEET

CENTRIFUGAL COMPRESSOR INSTRUMENTATION

SHEET NO. 6 REV. 4  
DATE 8/15/77  
BY ELP/CHK'D.

VENDOR MUST FURNISH ALL PERTINENT DATA FOR THIS SPECIFICATION SHEET BEFORE RETURNING.  
ITEM NO. 60-6-1 SERVICE Recycle Gas Compressor JOB NO. 454504  
MANUFACTURER ELLIOTT/ERBA

TEMPERATURE GAGE REQUIREMENTS:

FUNCTION	LOCALLY MOUNTED	LOCAL PANEL	FUNCTION	LOCALLY MOUNTED	LOCAL PANEL
LUBE OIL DISCHARGE FROM EACH COMPRESSOR JOURNAL BEARING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	COOLER OIL INLET & OUTLET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DRIVER JOURNAL BEARING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEAL OIL OUTLET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GEAR JOURNAL BEARING	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	COMPRESSOR SUCTION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COMPRESSOR THRUST BEARING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	COMPRESSOR DISCHARGE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DRIVER THRUST BEARING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GEAR THRUST BEARING	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

MISCELLANEOUS INSTRUMENTATION:

- COMBINED
- SIGHT FLOW INDICATORS, EACH JOURNAL & THRUST BEARING RETURN LINE
  - SIGHT FLOW INDICATORS, EACH SEAL OIL RETURN LINE
  - LEVEL GAGES, LUBE AND SEAL OIL RESERVOIR, S.O. DRAIN TRAPS & S.O. OVERHEAD TANK
  - VIBRATION AND SHAFT POSITION PROBES & PROXIMITORS
  - VIBRATION AND SHAFT POSITION READOUT EQUIPMENT
  - VIBRATION READOUT LOCATED ON:  LOCAL PANEL  SEPARATE PANEL  MAIN BOARD
  - TURBINE SPEED PICK-UP DEVICES
  - TURBINE SPEED INDICATORS
  - TURBINE SPEED INDICATORS LOCATED ON:  LOCAL PANEL  MAIN BOARD
  - REMOTE HAND SPEED CHANGER - MOUNTED ON LOCAL PANEL
  - ALARM HORN & ACKNOWLEDGEMENT SWITCH

ALARM & SHUTDOWN SWITCHES:

FUNCTION	PRE-ALARM	TRIP	FUNCTION	PRE-ALARM	TRIP
<input checked="" type="checkbox"/> LOW LUBE OIL PRESSURE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSOR VIBRATION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> HI LUBE OIL FILTER ΔP SEAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSOR AXIAL POSITION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> LOW LUBE OIL RESERVOIR LEVEL SEAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> TURBINE VIBRATION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> HI SEAL OIL LEVEL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> TURBINE AXIAL POSITION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> LOW SEAL OIL LEVEL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> GEAR VIBRATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> HI SEAL OIL PRESSURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> GEAR AXIAL POSITION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> LOW SEAL OIL PRESSURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> COMPRESSOR MOTOR SHUTDOWN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> AUX. SEAL OIL PUMP START	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> TRIP & THROTTLE VALVE SHUT DOWN	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> LUBE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> HI TURB. STEAM SEAL LEAKAGE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> HI SEAL OIL OUTLET TEMP. (Survey)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (1)	<input checked="" type="checkbox"/> HI COMPRESSOR THRUST BRG. TEMP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (1)
<input checked="" type="checkbox"/> HI LIQUID LEVEL SUCT. SEP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HI DRIVER THRUST BRG. TEMP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (1)
<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSOR HI DISCHARGE TEMP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> COMPR. BALANCE DRUM ΔP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/> HI COMPRESSOR JOURNAL BRG TEMP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (1)
			<input checked="" type="checkbox"/> HI TURBINE JOURNAL BRG TEMP.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (1)

SWITCH CLOSURES:

ALARM CONTACTS SHALL:  OPEN  CLOSE TO SOUND ALARM AND BE NORMALLY  ENERGIZED  DE-ENERGIZED  
SHUTDOWN CONTACTS SHALL:  OPEN  CLOSE TO TRIP AND BE NORMALLY  ENERGIZED  DE-ENERGIZED  
NOTE: NORMAL CONDITION IS WHEN COMPRESSOR IS IN OPERATION.

MISCELLANEOUS:

PRE-ALARM AND SHUTDOWN SWITCHES SHALL BE SEPARATE.  
PURCHASERS ELECTRICAL AND INSTRUMENT CONNECTIONS WITHIN THE CONFINES OF THE BASEPLATE AND CONSOLE SHALL BE:  
 BROUGHT OUT TO TERMINAL BOXES,  MADE DIRECTLY BY THE PURCHASER.

COMMENTS REGARDING INSTRUMENTATION: PROBE IN BOX  
(1) THERMOCOUPLE