

# Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



## “ Cálculo Térmico, Diseño Mecánico é Instalación de una Caldera Acuotubular para la Planta Térmica de Hierro Perú ”

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECANICO**

**MARCO ANTONIO ARANDA TOLEDO**

PROMOCION: 1986 - 1

**LIMA . PERU . 1992**

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO .....	Pag. 10
INTRODUCCION .....	Pag. 13
CAPITULO 2 DESCRIPCION DE LA PLANTA.....	Pag. 18
2.1 Descripción de las instalaciones existentes .....	Pag. 18
2.2 Demandas energéticas y potencias instaladas y transmitidas .....	Pag. 20
2.3 Estudio de la Caldera Nº 1 existente .....	Pag. 22
CAPITULO 3 DATOS Y PARAMETROS DE OPERACION ESTIPULADOS POR HIERRO PERU PARA EL CALCULO DE LA CALDERA .....	Pag. 32
3.1 Datos termodinámicos .....	Pag. 32
3.2 Partes fundamentales de la caldera	Pag. 33
3.3 Combustible a utilizar .....	Pag. 33
3.4 Parámetros de operación de la caldera .....	Pag. 34
3.5 Parámetros para el diseño mecánico	Pag. 35
CAPITULO 4 CALCULOS TERMICOS Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	Pag. 37
4.1 Temperaturas y presiones del proceso termodinámico en el Generador de Vapor .....	Pag. 38
4.2 Cálculos del proceso de combustión .....	Pag. 41

4.3	Cálculos termodinámicos preliminares .....	Pag. 46
4.4	Cálculo de la temperatura promedio de los gases a la salida del hogar .....	Pag. 47
4.5	Cálculo del sobrecalentador de calor .....	Pag. 55
4.6	Cálculo del evaporador .....	Pag. 67
4.7	Cálculo de economizador .....	Pag. 76
4.8	Cálculo del precalentador de aire	Pag. 83
4.9	Determinación de la eficiencia térmica global .....	Pag. 93
<b>CAPITULO 5 DISEÑO MECANICO .....</b>		<b>Pag. 106</b>
5.1	Partes sometidas a presión .....	Pag. 107
5.2	Cálculo del tiro .....	Pag. 135
5.3	Equipo de combustión .....	Pag. 155
5.4	Aislamiento y cierre de la caldera.....	Pag. 161
5.5	Estructuras de plataforma de acceso .....	Pag. 165
<b>CAPITULO 6 PLANEAMIENTO DEL PROYECTO y MONTAJE DE LA UNIDAD COMPLETA .....</b>		<b>Pag. 179</b>
6.1	Volúmenes de Obra .....	Pag. 183
6.2	Horas-hombre requeridas para el montaje de la Caldera .....	Pag. 189
6.3	Descripción de la metodología a seguir para el montaje de la Caldera .....	Pag. 195
6.4	Diagrama lógico de la secuencia de actividades - Cálculo de la Red CPM .....	Pag. 204

<b>CAPITULO 7 ESTIMADO DEL COSTO DE ADQUISICION é INSTALACION DE LA CALDERA .....</b>	<b>Pag. 228</b>
7.1 Costo del suministro .....	Pag. 228
7.2 Costo del Montaje .....	Pag. 234
7.3 Resúmen de costos totales .....	Pag. 276
 <b>CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....</b>	 <b>Pag. 278</b>



INDICE DE ILUSTRACIONES FIGURAS y CUADROSIlustraciones.-

Ilustración	Descripción
Nº 1	Plano ubicación planta térmica San Nicolás
Nº 2	Esquema instalaciones complejo minero Hierro - Perú
Nº 3	Diagrama unifilar de carga actual planta eléctrica San Nicolás
Nº 4	Esquema de ubicación de calderas inoperativas
Nº 5	Plano de detalle de ubicación Caldera Nº 1 a ser reemplazada
Nº 6	Fotos Caldera Nº 1 existente
Nº 7	Fotos Caldera Nº 1 existente
Nº 8	Diagrama termodinámico T-S
Nº 9	Esquema general disposición caldera
Nº10	Cálculo gráfico Temperatura Equilibrio del Hogar de la Caldera
Nº11	Esquema sobrecalentador de vapor
Nº12	Esquema evaporador convectivo
Nº13	Esquema economizador
Nº14	Precalentador de aire regenerativo del tipo Ljunstrom
Nº15	Esquema unifilar disposición quemadores
Nº16	Diagrama de barras gantt del Proyecto

.

## Figuras

Figura	Descripción
Nº 1	Calor específico gases calientes
Nº 2	Conductancia básica de radiación
Nº 3	Presión parcial gases radiantes en productos de la combustión
Nº 4	Longitud media de radiación
Nº 5	Factor de arreglo ó de disposición del combustible y tubos
Nº 6	Conductancia básica de conducción
Nº 7	Factor de propiedades físicas
Nº 8	Factor Número de Reynolds
Nº 9	Factor arreglo físico banco de tubos
Nº10	Factor profundidad de banco
Nº11	Viscosidad del vapor de agua
Nº12	Calor específico del vapor de agua
Nº13	Carta psicrométrica
Nº14	Factor pérdida de calor por radiación
Nº15	Factor de fricción flujo de gases ó aire
Nº16	Diagrama de Moody
Nº17	Propiedades físicas de gases
Nº18	Viscosidad absoluta ciertos gases
Nº19	Factor pérdidas de fricción por cambios de dirección en ductos
Nº20	Factor de pérdidas de tiro por fricción de lo gases en chimeneas
Nº21	Temperaturas aproximadas de salida de gases en chimeneas

Cuadros

Cuadros	Descripción
Nº1	Composición en peso y volúmen de los productos de la combustión
Nº2	Resultados numéricos para el cálculo gráfico de la temperatura promedio de los gases en el hogar
Nº3	Resultados del cálculo térmico y de transferencia de calor
Nº4	Resultados de arreglo físico de los aparatos de la caldera
Nº5	Resúmen del diseño del sobrecalentador
Nº6	Resúmen del diseño del evaporador convectivo
Nº7	Resúmen del diseño del economizador
Nº8	Volúmenes de Obra
Nº9	Estimación H-H y duración de actividades
Nº9.a	Estimación H-H y duración de actividades de las obras civiles
Nº10	Lista de actividades del proyecto Sucesiones y precedencias
Nº11	Costo del suministro partes de la caldera
Nº12	Análisis costo directo obras civiles
Nº13	Análisis costo directo desmontaje
Nº14	Análisis costo directo montaje mecánico
Nº15	Análisis costo directo montaje colocación de refractarios, instalación de aislam. y pintado de acabado
Nº16	Análisis costo directo de instalaciones eléctricas
Nº17	Análisis costo directo ejecución de pruebas

Cuadros	Descripción
Nº18	Análisis costo de útiles de trabajo é implementos de seguridad
Nº19	Análisis del costo indirecto para el conjunto de la obra.
Nº20	Resúmen de costos y establecimiento del precio final del proyecto

## PROLOGO

Pretendo con este trabajo desarrollar el proyecto de diseño y montaje de la nueva Caldera N<sup>o</sup>1 de la planta térmica de San Nicolás la cual forma parte del complejo minero de Hierro Perú en Marcona.

Dicha planta térmica actualmente no genera la energía que debiera debido a que dos, de los tres generadores de vapor con que cuenta están inoperativos. De acuerdo a los planes de Hierro Perú la Caldera N<sup>o</sup>2, que presenta daños subsanables, será reparada mientras que la Caldera N<sup>o</sup>1, que presenta daños serios e irreversibles, será retirada y en su lugar se instalará una nueva unidad.

La Caldera actual N<sup>o</sup>3 es la única unidad que se encuentra operativa y por medio de la cual se genera energía termo-eléctrica, energía que no es suficiente para cubrir las necesidades del complejo energético, de allí que actualmente es necesario entregar energía del sistema interconectado de Electroperú para satisfacer dicha demanda.

En el capítulo 2 se presentará una descripción de la situación actual de la planta térmica, el estado de los

equipos y de la maquinaria que la constituye, la demanda energética del complejo minero, manera como actualmente se cubre dicha demanda, y finalmente se presenta un detallado análisis de la actual caldera N° 1 que se pretende reemplazar.

En el capítulo 3 se detallan los datos y parámetros tomados en campo y requeridos por Hierro Perú respectivamente, que ayudarán cuando más adelante se efectúen los cálculos térmicos, de transferencia de calor y los de diseño mecánico.

En el capítulo 4 se procederá como efectuar los cálculos termodinámicos y de transferencia de calor que nos permitirán determinar las principales variables termodinámicas que gobernarán el funcionamiento de la caldera y que también son requeridos para desarrollar los cálculos del diseño mecánico.

En el capítulo 5 se efectuarán los cálculos respecto del diseño mecánico de los principales elementos que constituyen el conjunto de la caldera, tales como los tambores recolectores, tubos, etc.

En el capítulo 6 se desarrollará la secuencia metodológica para efectuar el montaje de la nueva unidad, que comprenderán todos los elementos que la constituyen, incluyendo las principales pruebas que se llevarán a cabo



para verificar la correctitud de los trabajos de montaje. Se estimarán los principales Volúmenes de Obra que nos permitirán estimar la cantidad de horas-hombre y otros recursos requeridos para ejecutar el montaje.

Finalmente en el capítulo final se estimarán los costos principales y montos de inversión para el desarrollo del presente proyecto, es decir el costo de la adquisición de la unidad y el costo del de su respectiva instalación en la localidad de la planta.

Han sido varias las personas é instituciones que, de un modo ú otro me ayudaron para la realización de la presente Tesis: a Cosapi , empresa en la cual laboro por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo, a Hierro-Perú por la facilidad en el suministro de información valiosa , a Industrial Lima S.A. y Distral-Colombia, a mi asesor y sin ser los menos importantes a mis padres por su abnegada y feliz insistencia para la culminación del presente trabajo.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

En el desarrollo de los impactantes acontecimientos sociales, políticos, y económicos por los que atraviesa nuestro País y que por su gravedad e implicancias nos tiene a la gran mayoría de peruanos absortos e inertes sin plantear respuestas concretas para resolver desde nuestro ámbito, una parte de aquellos, nosotros, los que tuvimos la oportunidad de culminar estudios de nivel universitario, debemos plantear un alto en nuestra vida y verificar si durante nuestro desempeño laboral acaso no ha existido algún hecho que por su irregularidad nos haya despertado especial interés y en cuyo momento concebimos alguna respuesta técnica que contribuya a resolver dicha circunstancia y no la propusimos ya sea por la institucionalizada indiferencia que existe en nuestro País o quizás por inseguridad propia.

Pienso, sin embargo que es hora que todos los peruanos, y con mayor razón los profesionales, pongan manos a la obra y se aboquen con impulsar una fuerza renovadora ,para que el reto que nos impone el futuro sea enfrentado con sentido innovador de forma tal, que el desarrollo de tecnología peruana, que presente ventajas

comparativas en el contexto internacional, sea el motor que nos propulse en forma segura para afrontar los riesgos y los retos que nos impone el futuro siglo XXI.

Desde las perspectivas y posibilidades de cada uno de nosotros, debemos dedicarnos de lleno con aportar soluciones audaces a los masivos problemas que aquejan a nuestro dolido País, de modo tal que el esfuerzo del conjunto de técnicos peruanos se convierta en un impulso de sinergia que estimule y consolide en forma segura la recuperación, en todos los frentes, de nuestro País.

Es bajo este contexto que me propuse desarrollar la materia de la presente Tesis, a raíz de una visita que por motivos de trabajo realicé a las instalaciones del complejo minero de Hierro'Perù el pasado mes de Junio de 1,990. En aquella ocasión detuve mi atención en las instalaciones de la planta tèrmica debido a la negativa impresión que me causó el observar el estado de total abandono en que se encontraban dos de los tres generadores de vapor, los cuales eran visibles a simple vista, debido a que se ubicaban fuera del edificio de la planta tèrmica. Mi curiosidad se acrecentó y al indagar más por el lugar, pude comprobar que dentro del edificio de la planta, las tres turbinas y demás equipos auxiliares, a simple vista, se hallaban en buenas condiciones.

Todo esto me estimuló en tomar una actitud crítica

con un sentido pragmático, analicé si dada la coyuntura de déficit energético por la que atraviesa nuestro país, acaso no era pertinente y necesario pensar en poner operativas dichas calderas para así aprovechar a plenitud la capacidad instalada generadora de energía que existía dentro de la planta y aliviar así, la necesidad que actualmente se tiene de entregar energía desde el sistema interconectado Norte-Centro de Electro Perú para cubrir la demanda de energía eléctrica para la operación del complejo minero.

Profesionales y técnicos de carrera de Hierro Perú me comentaron que ellos tampoco comprendían el porqué del estado a que habían llegado dichas unidades, producto de equivocadas decisiones políticas de los directores de turno nombrados por el gobierno central. No obstante pude informarme que el directorio de turno de aquel entonces había promovido la licitación internacional para la "Adquisición, Instalación y Puesta en marcha de la Caldera Nro. 3 " la cual incluía asimismo el financiamiento de la adquisición por los postores de la licitación.

El análisis que efectué en aquella visita se tornó en un Objetivo que me impulsó con esmero y mucho empeño en desarrollar el Diseño de la Caldera N<sup>o</sup> 1.

El primer documento oficial que obtuve fue la copia del documento de la convocatoria internacional donde se incluían las Bases Técnicas que Hierro Perú elaboró,

apoyados en una empresa asesora de sigla C.I.C.D.E. De este documento pude extraer los parámetros, datos de operación y en general la información técnica que Hierro Perú consideró suficientes para la elaboración de las propuestas.

Seguidamente fué necesario el que yo me constituya personalmente a la planta para obtener medidas de campo, tales como el espacio físico existente donde se ubicaba la deteriorada unidad #1 y donde se localizaría la nueva unidad a adquirirse, así como ciertos datos necesarios a fin de que el diseño guarde coherencia con la unidad existente, (líneas de empalme, estado de equipos auxiliares, chimenea, etc.).

Luego dado el especial y reiterativo pedido de Hierro Perú para que los diseños y cálculos se ajusten a las normas del "Power Boiler Code" de la ASME el siguiente paso fué conseguir dicho código lo cual lo logré en el ITINTEC. Información y otros documentos requeridos para desarrollar la Tesis fueron adquiridos a través de los canales normales, Bibliotecas, Librerías y Revistas Técnicas.

Desarrollar el presente trabajo de investigación implicó una coherente organización de los temas y una clara presentación de los cálculos y resultados. Dado lo complejo del tema se ha tratado de insistir en que los resultados lleguen en forma clara aún a riesgo de parecer reiterativo. Los capítulos 4 y 5, que son los que

contienen el núcleo fundamental de la Tesis, han merecido especial esmero en su presentación con el ánimo de que los cálculos y resultados esten perfectamente sustentados mediante el soporte teórico correspondiente.

Finalmente en cuanto a los capítulos 6 y 7 que son los temas que se refieren a los del montaje de la caldera y costos estimados del suministro é instalación, he aprovechada la valiosa experiencia adquirida en una prestigiosa empresa constructora especializada en la ejecución de trabajos de montaje electromecánico.



## CAPITULO 2

### DESCRIPCION DE LA PLANTA TERMICA

#### 2.1.- Descripción de las instalaciones existentes.-

La planta térmica de San Nicolás, forma parte de del conjunto de instalaciones que constituyen el complejo de la Empresa Minera del Hierro del Perú (Hierro Perú) ubicada en la provincia de Nazca, departamento de Ica a 523 kilómetros al sur de la ciudad de Lima. Se llega a dicha localidad a través de una carretera asfaltada en buen estado. En la ilustración Nº 1 (final del capítulo) se muestra la ubicación en el mapa, de la localidad donde se ubica el complejo minero. La localidad de San Juan, que también se indica en el mapa, es donde se ubica la ciudad con los campamentos y servicios para el personal obrero y empleado que trabajaba en el complejo minero.

Esta empresa produce pellets de hierro, producción que en buena parte es exportada y también en parte suministrada a Sider - Perú.

En la ilustración Nº 2 se muestra de modo esquemático el conjunto de las instalaciones de todo el complejo minero y por cierto también, el de la planta térmica, ésta

se halla ubicada, como se vé, al sur del puerto de San Nicolás.

El conjunto de la planta térmica básicamente esta conformada por tres bloques caldera - turbina - generador; la unidad Nº 1, 2 y 3 respectivamente. Las potencias instaladas "originales", medidas a la salida de los generadores eléctricos, eran:

Unidad Nº 1.....	20 MW
Unidad Nº 2.....	20 MW
Unidad Nº 3.....	25 MW

=====

TOTAL	65 MW
-------	-------

Como se mencionó en la introducción, de los tres generadores de vapor existentes solo uno se encuentra operativo, la Nº 3, sin embargo las turbinas, generadores y demás equipos auxiliares se hallan, en buenas condiciones.

La caldera Nº 2 será reparada y es motivo de otro proyecto, mientras que la caldera Nº 1 será reemplazada por otra unidad completamente nueva: es hacia esta unidad que nos orientaremos en el desarrollo de los estudios en la presente Tesis.

2.2.- Demandas energéticas y potencias instaladas y transmitidas para satisfacerla.-

En la ilustración N° 3 (al final del capítulo) se muestra el diagrama unifilar eléctrico en la cual se indica la forma como actualmente se cubre las necesidades de todo el complejo minero.

Como se puede apreciar, debido a la inoperatividad de las calderas N°1 y N°2, la potencia instalada actualmente disponible en la planta térmica proviene de caldera N°3 y es de 18 MW. Obsérvese la que dicha potencia es un 72% aproximadamente de la "original" instalada.

Se aprecia también que la máxima potencia actualmente requerida por el complejo minero es de 46 MW; como la máxima potencia disponible en la planta térmica es de 18 MW, los 28 MW restantes es energía transmitida y entregada por el sistema interconectado Centro-Norte de Electro-Perú. Podemos observar que esta energía podría servir de gran ayuda para satisfacer las cada vez crecientes demandas de vastos sectores de la capital de Lima, tanto de consumidores industriales, como para dar luz a muchos hogares a las que tanta falta les hace este vital servicio.

Hay otro aspecto que estimo es preciso resaltar, y es que del dato que indicáramos líneas arriba, observamos que

la máxima potencia disponible "original" en la planta térmica era de 65 MW, potencia que es mayor en 19 MW a la máxima potencia requerida actualmente por el complejo minero. Esto es resultado de la caída de producción de dicha unidad minera, que respecto de la primera mitad de la década del 70 se ha reducido en casi un 60% por diversas razones, pero la fundamental por el producto de equivocadas decisiones en cuanto a su manejo político a la que ha sido sometida. Sin embargo es fácil asegurar que el escollo fundamental que afrontará la empresa cuando se tome la decisión de levantar la producción, (ya sea por su actual propietario ó en el caso se logre la participación de inversionistas privados), a sus estándares históricos será el de la insuficiencia energética. Es más, existen planes concretos para ampliar la variedad de la producción, construyendo una nueva Planta de Reducción Directa de Hierro Primario. Este proyecto de modernización, si resulta viable en cuanto a su financiamiento, se encontrará también con el escollo de la insuficiencia energética. Es por todo esto que resulte vital el que el proyecto de la presente Tesis sea desarrollado en el corto plazo, más aun cuando existen ofrecimientos formales de una línea de crédito por parte del gobierno colombiano que esta a la espera de la confirmación por Cofide, en cuanto a la contrapartida.

### 2.3.- Estudio de la Caldera N°1 existente.-

A efectos de poder hacer un estudio minucioso de la caldera existente, y tomar medidas y datos respecto de sistemas de tuberías, empalmes, estado de equipos auxiliares, etc., me constituí al lugar de la planta a efectos de tomar datos de "campo" necesarios y requeridos a efectos de desarrollar correctamente los cálculos

En la ilustración N°4 se observa la ubicación que tienen actualmente las dos calderas actualmente inoperativas, dentro de los límites de la planta térmica. En dicho esquema se aprecia la disposición de ambas unidades y específicamente se vé la unidad N°1 la cual será reemplazada.

En la ilustración N° 5 se indica específicamente la disposición de la actual caldera N° 1, con medidas ó cotas físicas del área ocupada, tomadas directamente en el "campo". Estos datos nos servirán de gran ayuda cuando más adelante se efectúen los cálculos de transferencia de calor y predimensionamiento de los aparatos que forman la caldera. Es decir se intentará el que la nueva caldera ocupe el espacio físico existente entre el edificio de la planta y la chimenea de gases de escape, que será reutilizada debido a que en términos generales se haya en buenas condiciones.



En las ilustraciones N°6 y N°7 (mostradas al final del capítulo) se pueden apreciar a través de unas fotos tomadas en "campo" la situación de irreversible deterioro que presenta la actual caldera. Motivo de especial preocupación es la actual base de concreto, la cual como se aprecia en una de las fotos presenta serios daños. Por tanto en el capítulo de costos, la demolición y construcción de una nueva base será contemplada.

En la visita también pude apreciar que las bombas del agua de alimentación a la caldera, la cisterna o tanque diario de petróleo, el equipo de bombeo de petróleo, el tanque de condensado, las tuberías de evacuación de lodos, y como dijimos la chimenea se hayan en términos generales en buenas condiciones y no serán motivo del presente proyecto.

Con respecto a los puntos de empalme de tuberías de la nueva unidad con la planta existente, de las observaciones hechas en campo y consultas con el personal que trabaja en la planta concluimos en lo siguiente:

Agua de alimentación.- Se hará a la salida del calentador regenerativo de alta presión.

Vapor sobrecalentado.- Se hará con la tubería existente, a una distancia de 10 metros,



aproximadamente, desde el costado de la caldera.

Salida de gases quemados.- La interconexión se hará en la desembocadura de los ductos de humos de la chimenea existente.

Alimentación de combustible.- La interconexión se hará con las tuberías de salida de las bombas de alta presión de petróleo pesado, existentes.

## CAPITULO 3

### DATOS Y PARAMETROS DE OPERACION ESTIPULADOS POR HIERRO PERU PARA EL CALCULO DE LA CALDERA

La caldera será del tipo convencional soportada por su base y del tipo "Field Erection" y, como se dijo previamente, será instalada en el exterior. El vapor generado será utilizado para mover un turbo - generador General Electric cuya turbina de 15 etapas funciona con una presión de 850 psig a una temperatura de 900 F y 3,600 rpm.

#### 3.1.- Datos termodinámicos.-

Capacidad	190,000 lb/hr
Temp. de vapor a la salida	905 F
Presión de vapor a la salida	865 psig
Temp. del agua de alimentación	360 F (*)
Temp. del aire ambiente	85 F
Altura sobre nivel del mar	50 pies.

### 3.2.- Partes fundamentales de la caldera.-

La caldera constará de las siguientes partes :

Caldera ó hervidor de tubos acodados  
 Tambores recolectores  
 Sobrecalentador y des-recalentador  
 Quemador de combustible para petróleo  
 Precalentador de aire  
 Ventilador de tiro forzado  
 Economizador  
 Sopladores de hollín  
 Plataforma de servicio, escaleras,  
 aislamiento, refractarios, etc.  
 Controles é instrumentos.

### 3.3.- Combustible a utilizar.-

Será el petróleo residual (heavy oil) Nº 6 , pero sin embargo, considero que deberá considerarse la posibilidad de utilizar a un futuro no muy lejano el gas natural del Camisea.

Las características de dicho petróleo según Hierro-Perú son:

- A.P.I.	13 á 16
Viscosidad SSF a 122 °F	400 á 800
Punto de inflamación PM °F	150 Mín.
Poder calorífico bruto Btu/lb	18,450 Mín.

Azufre % en peso	1.2 Mín.
Cenizas % en peso	0.1 Mín.
Punto de fluidez °F	+ 70 Máx.

#### 3.4.- Parámetros de operación de la caldera.-

A continuación precisaremos las condiciones que Hierro-Perú estipuló se tengan en cuenta a efectos del diseño de operación del nuevo generador de vapor.

a.- El generador de vapor será de circulación natural con dos tambores y tubos acodados.

b.- La performance del generador de vapor y sus partes deberá cumplir con las regulaciones y prácticas expresas del "Manual de Industria Standard" y publicaciones del "American Boiler Manufacturers Association". La eficiencia de generador será como mínimo del 85 %.

c.- Los quemadores serán del tipo horizontal en número de cuatro (4) y diseñadas para atomización mecánica de amplio rango.

d.- El precalentador de aire regenerativo será del tipo Ljunstrom.

e.- La unidad constará con sopladores de hollín para la limpieza del sobrecalentador, banco de tubos y economizador. Se usará vapor a 925 psig y 650 °F.

f.- Para la circulación de los gases el sistema también constará de un ventilador de tiro forzado centrífugo. El ventilador será diseñado para una

generación de vapor de 200,000 lb/hr utilizando como combustible aceite residual pesado a 50 pies sobre el nivel del mar.

### 3.5.- Parámetros para el diseño mecánico.-

a.- Todos los items, materiales y diseños deberán cumplir con los códigos americanos A.S.M.E. , A.N.S.I. , A.S.T.M , A.I.S.C. .

b.- La caldera constará con tambores de agua y vapor los que serán soldados a fusión, fabricados con planchas de acero y en concordancia con las normas ASME Nro. SA-212-B. Cada tambor será equipado con dos man-holes de 16" de diámetro con cubiertas de acero. El espesor de las planchas será de acuerdo con el código ASME . Los tambores tendrán un diámetro aproximado de:

Tambor de vapor	Entre 48" y 60"
Tambor de agua	Entre 30" y 36"

c.- Los tubos del banco principal de la caldera serán de acero al carbono, con un diámetro exterior de 2" y con 4" de espaciamiento entre tubos, el espesor estará de acuerdo al código ASME. Los extremos de los tubos entrarán radialmente en las paredes de los tambores.

d.- Las paredes de agua serán de aletas soldadas conforme al código ASME.

e.- Las plataformas, pasillos y escaleras requeridos para acceder a toda la unidad serán diseñados para una carga viva no menor de 120 lb/pies<sup>2</sup>. El material será de acero al carbono de 3/16" de espesor y tubo negro de

1.1/2" de diámetro.

f.- Las estructuras de acero se diseñarán para una carga de viento de 20 lb/pie<sup>2</sup> y de movimiento sísmico correspondiente a la zona 3, en concordancia con las normas AISC.



## CAPITULO 4

### CALCULOS TERMICOS Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR

A lo largo de este capítulo se efectuarán los cálculos, quizás mas importantes y complejos que implica el diseño del generador de vapor. Como se podrá apreciar más adelante existen una variedad de supuestos y soluciones que se adoptan a efectos de ir paulatinamente alcanzando definir los parametros que involucra el diseño térmico de la caldera.

Si pudiéramos resumir el desarrollo del presente capítulo diríamos que se determinará una de las óptimas combinaciones posibles de: diámetros de tubos, espaciamiento de tubos, número de tubos en la dirección perpendicular al flujo de gases y en la dirección paralela, de modo tal que se logre el objetivo de que la caída de la temperatura de los gases calientes a su paso por los aparatos térmicos de la caldera, produzca la transferencia de calor necesaria para llevar el agua desde su condición de ingreso (Punto 1), hasta la de entrega (Punto 4); teniendo en cuenta se produzca una correcta circulación de la mezcla agua-vapor, una aceptable caída del tiro de los gases y lo más importante una adecuada eficiencia térmica global de la performance del generador de vapor.

El flujo lógico del cálculo será entonces :

1.- Establecer para el flujo de gases calculado, la relación correcta, entre las superficies de transferencia de calor y las caídas ó elevaciones de temperaturas deseadas.

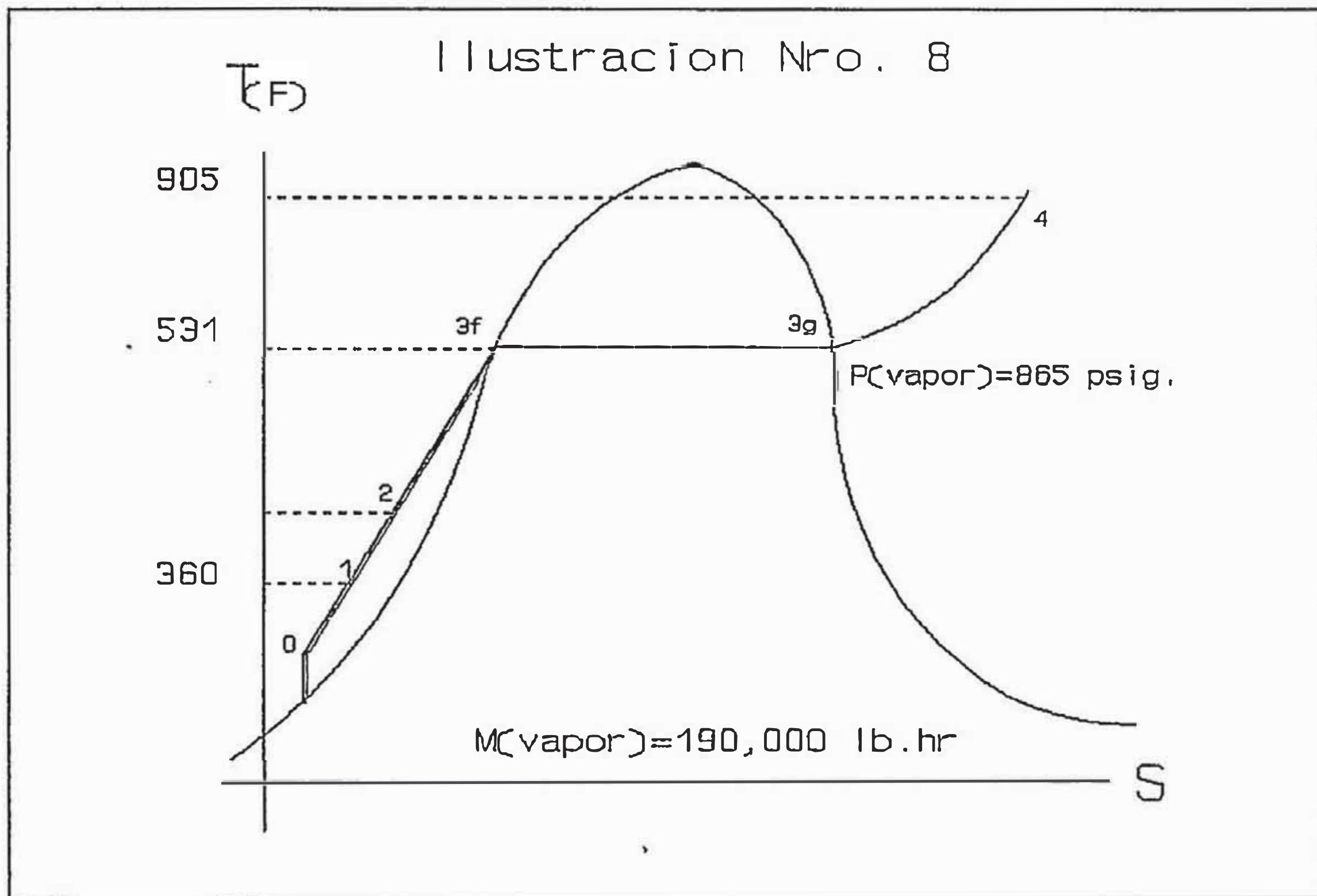
2.- Verificar el rendimiento ó performance del generador de vapor.

3.- Establecer la pérdida de tiro de los gases a su paso por los diferentes aparatos térmicos.

4.1.- Temperaturas y presiones en el proceso termodinámico en el Generador de Vapor.-

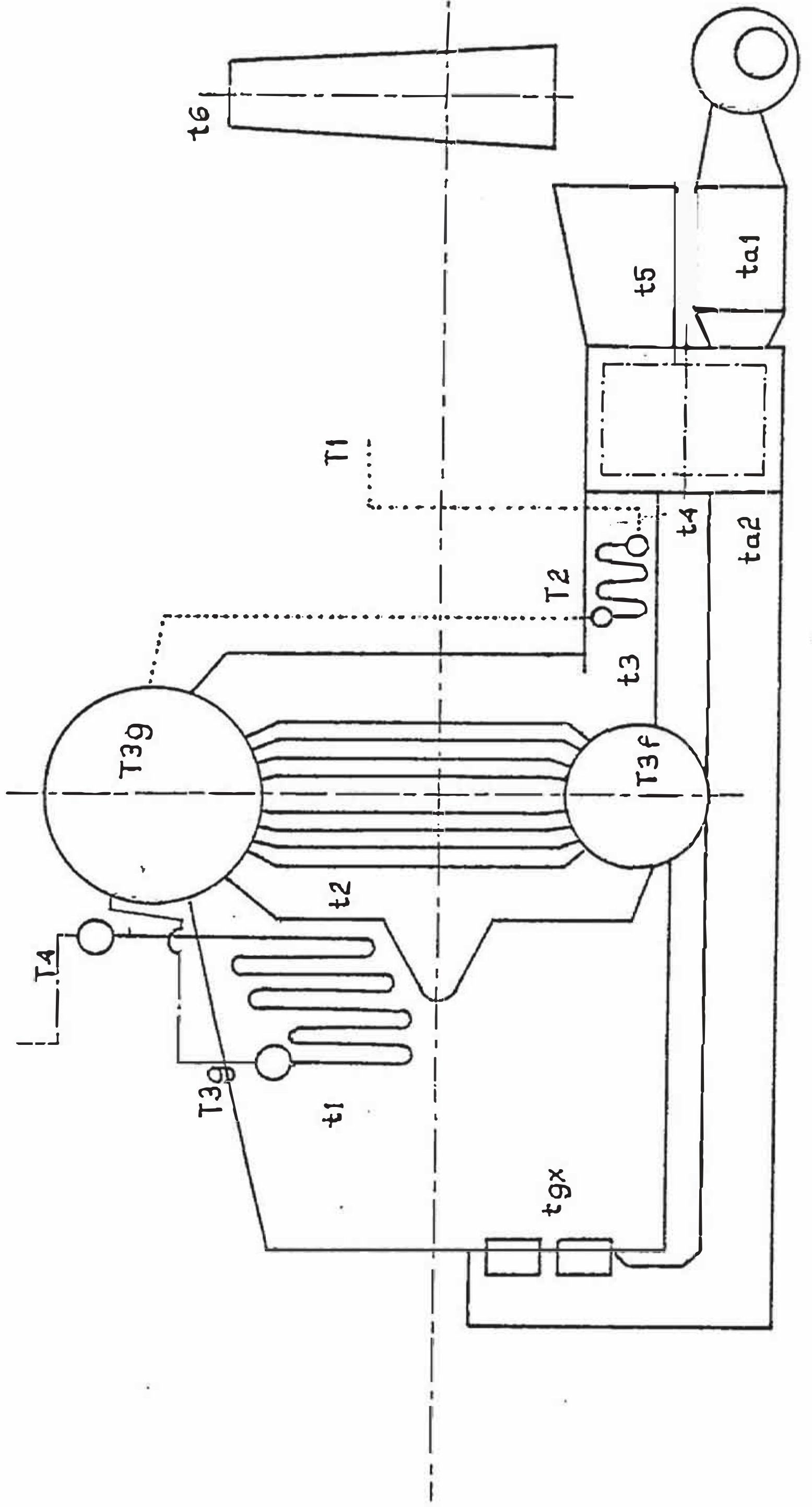
De acuerdo a los datos termodinámicos indicados en el acápite 3.1 y de acuerdo también al acápite 3.2 que detalla los aparatos que constituirán el generador de vapor, podemos graficar en el diagrama T-S el proceso termodinámico que desarrollará la sustancia de trabajo, el agua-vapor, a su paso por los aparatos termicos que conforman nuestro generador de vapor. En la ilustración N°8 se ha procedido de este modo. Es necesario resaltar que el ingreso a la caldera es por el Punto 1 a 360 °F, existirá por tanto, un previo proceso de calentamiento desde el Punto 0 al Punto 1 en un calentador regenerativo existente, según lo indicáramos en el acápite 2.3.

Aquellos estados los podemos visualizar esquemáticamente durante el recorrido de la sustancia de



trabajo a su paso por los diversos aparatos térmicos que constituyen el generador de vapor en la ilustración Nro. 9 que en la página siguiente se muestra:

Ilustracion Nro. 9



Cálculo de propiedades termodinámicas

a.- Entalpía Punto 1.

$$h_1 = h_{f-360^{\circ}F} + v_{f-360^{\circ}F} (P_v - P_{sat-360^{\circ}F})$$

$h_f$  a 360°F = 338 Btu/lb ..... De tablas

$v_f$  a 360°F = 0.0182 pies<sup>3</sup>/lb ..... De tablas

$P_{sat}$  a 360°F = 0.163 lb/pulg<sup>2</sup> ..... De tablas

y  $P_v = 865$  psig = 879.7 psia

reemplazando:  $h_1 = 341$  Btu/lb

b.- Entalpías Punto 3.

$h_{3f}$  = 522 Btu/lb ..... De tablas

$h_{3g}$  = 1197 Btu/lb ..... De tablas

c.- Entalpía Punto 4.

$h_4 = 1455$  Btu/lb ..... De tablas

Débase notar que el punto 2 de la ilustración N08 es el punto a la salida del economizador, que aún no ha sido calculado.

4.2.- Cálculos del proceso de combustión.-

Las características principales del petróleo a utilizar fueron indicadas en el acápite 3.3; no obstante para efectuar los cálculos de detalle fué necesario recurrir a Petro-Perú para recoger la siguiente información respecto del análisis físico del combustible a utilizar:



## Análisis último Aceite Pesado

Fuel Oil #6

Porcentaje en peso

Cenizas	0.1 %
S	1.2 %
H <sub>2</sub>	9.7 %
C	87.0 %
N <sub>2</sub>	1.0 %
O <sub>2</sub>	1.0 %

=====

Poder calorífico superior = 18,450 Btu/lb      100.0 %

Reacciones de combustión

Procedemos entonces con establecer las ecuaciones de reacción química elemental de cada uno de los elementos constituyentes del combustible para determinar el oxígeno teórico requerido:

-----	-----	-----	-----
Análisis	Reacción	Pesos molec.	O <sub>2</sub> externo necesar.
-----	-----	-----	-----
C :0.870	C + O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub>	12 + 32=44	(32/12)x0.87=2.3200
H <sub>2</sub> :0.097	H <sub>2</sub> +½O <sub>2</sub> = H <sub>2</sub> O	2 + 16=18	(16/2)x0.097=0.7760
O <sub>2</sub> :0.010	disminuye cantidad de O <sub>2</sub> necesaria		=-0.010
N <sub>2</sub> :0.010	inerte		
S :0.012	S + O <sub>2</sub> = SO <sub>2</sub>	32 + 32=64	(32/32)x0.012=0.012
Ceniza:			
0.001	inerte		
-----			-----
1.000 kg			3.098 kg

Es decir se requieren 3.098 kilos de oxígeno teórico por cada kilo de combustible.

Pero en el aire (que es el comburente real del petróleo):

Oxígeno = 23.2% en peso y

Nitrógeno = 76.8% en peso

Luego el aire estequiométrico necesario para quemar 1 kilo de combustible sería:

$$3.098 \times (1 + (76.8/23.2)) = 13.353 \text{ kg aire}$$

A continuación plantearemos las ecuaciones necesarias para determinar los productos de combustión:

Componente del combustible		+	OXIGENO	=	Productos de la combustión	
C :	0.8700	+	2.3200	=	CO <sub>2</sub>	= 3.1900 22.2%
H <sub>2</sub> :	0.0970	+	0.7760	=	H <sub>2</sub> O	= 0.8730 6.1%
O <sub>2</sub> :						
N <sub>2</sub> :	0.0100	+			N <sub>2</sub>	= 0.0100 0.1%
S :	0.0120	+	0.0120	=	SO <sub>2</sub>	= 0.0240 0.2%
Nitrógeno del exterior					N <sub>2</sub>	= 10.2550 71.4%
						-----
						14.3520 100.0%

Es decir el peso de los gases formado por la combustión estequiométrica del aire y combustible sería de:

$$= 14.3520 \text{ kgs de productos de combustión}$$

kg de combustible



Si estos valores en peso, los convertimos, según la Ley de Avogrado, a valores volumétricos, teniendo en cuenta además que el coeficiente de dilatación de los gases es igual a  $\alpha=1/273$ , tenemos:

Prod.	kg	Peso-mol	Volúmen a 315°C	Litros	%
CO <sub>2</sub>	3.190	44	$(3190/44) \times 22.4 \times (1+315/273)$	3498	14.9
H <sub>2</sub> O	0.873	18	$(873/18) \times 22.4 \times (1+315/273)$	2340	9.9
N <sub>2</sub> tot	10.2650	28	$(10265/28) \times 22.4 \times (1+315/273)$	17687	75.1
SO <sub>2</sub>	0.0240	64	$(24/64) \times 22.4 \times (1+315/273)$	18	0.1
				23543	100

Por consiguiente los litros de gases de combustión por cada kilo de combustible sería:

23,543 lts/kg

#### Exceso de aire

De acuerdo a las recomendaciones bibliográficas que siempre deben ser tomadas muy en cuenta debido a que tienen asidero en la experiencia operativa, para calderos que quemen "fuel-oil", se recomienda un exceso de aire de 15%.

Por consiguiente:

-	Exceso de aire	=	0.15 x 13.353	=	2.003 kg
-	Aire teórico	=			13.353 kg
					-----
	Aire total:				15.356 kg

Este exceso de aire no interviene en las reacciones de combustión pero, sin embargo, aumenta el peso de los gases en el peso correspondiente.

Por tanto en cuanto a los productos de combustión:

$$\begin{aligned} \text{Total gases con 15\% de exceso de aire} &= 14.352 + 2.003 \\ &= 16.355 \text{ kg/kg de combustible} \end{aligned}$$

A 315°F el peso específico del aire es de 0.6 kg/m<sup>3</sup>

de ahí que los 2.003 kg de aire en exceso ocuparán:

$$2.003 \times (1 + 315/273) / 0.6 = 7.2 \text{ m}^3 = 7,200 \text{ lts}$$

Finalmente con todos estos datos efectuaremos un resumen que lo mostramos en el siguiente cuadro

Cuadro N<sup>o</sup> 1

Gas	Volúmen	%Volúmen	Peso	%Peso
CO <sub>2</sub>	3,498	11.4	3.190	19.5
H <sub>2</sub> O	2,340	7.6	0.873	5.3
N <sub>2</sub> O total	17,687	57.5	10.265	62.8
SO <sub>2</sub>	18	0.1	0.024	0.2
Aire en exceso	7,200	23.4	2.003	12.2
Total	30,743	100.0	16.355	100.0

#### 4.3.- Cálculos termodinámicos preliminares.-

- Calor requerido para lograr ebullición del agua  $= h_{3g} - h_2 = 1,197 - 341$   
 $q_v = 856 \text{ Btu/lb}$
- Calor requerido para sobrecalentar  $= h_4 - h_{3g} = 1,455 - 1,197$   
 $q_s = 258 \text{ Btu/lb}$

- Calor total requerido para llevar el agua de alimentación hasta el punto de salida del sobrecalent.

$$q_v + q_s = 1,114 \text{ Btu/lb}$$

Ya que se requieren producir 190,000 lb/hr de vapor entonces el flujo total de calor requerido será:

$$Q_t = 190,000 \times 1,114 = Q_t = 211'660,000 \text{ Btu/hr}$$

de los cuales:

$$\text{Para la vaporización} = Q_v = 162'640,000 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{y Para el sobrecalent.} = Q_s = 49'020,000 \text{ Btu/hr}$$

Siendo la eficiencia solicitada para esta caldera del 85%, valor que está dentro de lo normalmente logrado por estas unidades, entonces:

$$\eta_{\text{caldero}} = \frac{Q_t}{m_c P_c}$$

donde  $m_c$  = flujo másico de combustible requerido y

$P_c$  = poder calorífico

despejando entonces:

$$m_c = 211'660,000 \text{ Btu/hr} \div (0.85 \times 18,450) \text{ Btu/lb}$$

$$= 13,497 \text{ lb/hr de combustible.}$$

Con los datos obtenidos en el acápite anterior:

$$\text{lb aire total} / \text{lb combustible} = 15.356$$

$$\text{lb gases comb.} / \text{lb combustible} = 16.355$$

entonces:

$$\text{Flujo másico de aire fresco} = 15.356 \times 13,497 = 207,260 \text{ lb/hr}$$

$$\text{Flujo másico de gases comb.} = 16.355 \times 13,497 = 220,743 \text{ lb/hr}$$

Asimismo como dato importante que más adelante utilizaremos, calcularemos el Flujo de calor total agregado a la caldera ( $Q_a$ ):

$$Q_a = m_c \times P_c = 13,497 \times 18,450 = 249'019,650 \text{ Btu/hr}$$

#### 4.4.- Cálculo de la temperatura promedio de los gases a la salida del hogar.-

El cálculo de esta temperatura es de primordial importancia dentro del contexto del cálculo global del caldero, debido a que ésta será a la cual los gases, productos de la combustión del horno, iniciarán su recorrido a través de los diversos aparatos de transferencia de calor, llámense sobrecalentador, banco del evaporizador, economizador, y precalentador de aire, transmitiendo y distribuyendo calor convectivo.

A efectos de establecer las formulas adecuadas que nos permitan determinar dicha temperatura, partiremos de la siguiente premisa teórica:

"Del calor total cedido al hogar por los gases por efecto de la combustion de la mezcla aire - petroleo, una parte es absorbido por el mecanismo de radiación por la superficie que envuelve ó "vé" el hogar, es decir las porciones correspondientes de las paredes de agua frontal-superior, trasera y lateral así como también a la superficie proyectada del sobrecalentador que también "vé" el hogar, (vease la Ilustración N°8); mientras que la otra parte de dicho calor es absorbido por los gases por convección y conducción.

Es decir: 
$$Q_t = Q_r + Q_c \quad \dots (1)$$

Donde:

$Q_t$  = Calor total neto absorbido por el generador de vapor

$Q_r$  = Calor absorbido por el mecanismo de radiación por las correspondientes porciones de las paredes del hogar

$Q_c$  = Calor absorbido por los gases por el mecanismo de convección



Calor por radiación.-

De acuerdo a la Ley de Stefan-Boltzman este calor se calcula de la siguiente formula (fórmula 21 Kreith):

$$Q_r = A_1 F_{1-2} (E_{b2} - E_{b1})$$

Donde:

$A_1$  = Area expuesta a radiación

$F_{1-2}$  = Factor de forma

$E_{b2} - E_{b1}$  = Potencial radiante neto =  $\delta (T_2^4 - T_1^4)$

donde:  $\delta$  es una constante de proporcionalidad que es igual a  $0.1714 \times 10^{-8}$

$T_2$  = temperatura absoluta superficie radiadora, que para nuestro caso, teniendo en cuenta la Ilustración N°8 es la temperatura  $t_{g\text{v}}$

$T_1$  = temperatura absoluta de la superficie receptora, que para nuestro problema será la de saturación del agua  $T_{\text{v}}$ .

Debido a que la disposición del hogar de un generador a vapor se asemeja, con mucho grado de aproximación a la de un pequeño cuerpo gris encerrado en una cubierta negra, entonces de acuerdo a la fórmula reducida para este caso que el libro de Kreith plantea:

$$Q_r = A_1 \times \epsilon_1 \times \delta \times (t_{g\text{v}}^4 - T_{\text{v}}^4) \dots (2)$$



Entonces:

- (\*) Asumiendo  $A_1 = 1,900$  pies<sup>2</sup> (valor que luego será verificado).
- $\epsilon_1 = 0.7$ , emisividad promedio para acero tubos de caldero.
- $t_{g,x}$  = valor buscado.
- $T_{\infty}$  = temperatura de saturación del vapor =  
531°F = 991°R.

Entonces, para diferentes valores de  $t_{g,x}$ , habrá diferentes valores de  $Q_r$ , esta ecuación resultante se llevará a una curva  $Q_r$  vs.  $T$  que se indica en la Ilustración N°10, y cuyos datos se indican en el Cuadro N°2.

#### Calor por convección.-

Si suponemos que todo el calor disponible en el combustible es aprovechado "solo" en calentar a los gases, productos de la combustión, con lo que  $Q_r = 0$ , podemos plantear la siguiente ecuación:

$$t_{(g_{r=0})} = [P_c \div (w_g \times C_{p_g})] + t_a \dots (3)$$

Donde:

- $P_c$  = Poder calorífico del combustible = 18,450  
Btu/hr.
- $w_g$  = lbs de gases/lbs de combustible = 16.355
- $C_{p_g}$  = Calor específico de los gases = 0.267  
Btu/lb - °F

$t_a$  = temperatura del aire ingreso al hogar, que por el momento la supondremos en = 470°F (\*), y que luego será verificado.

Reemplazando estos datos en (3) y resolviendo:

$$t_{g,x}(Q_r=0) = 4,700 \text{ } ^\circ\text{F}$$

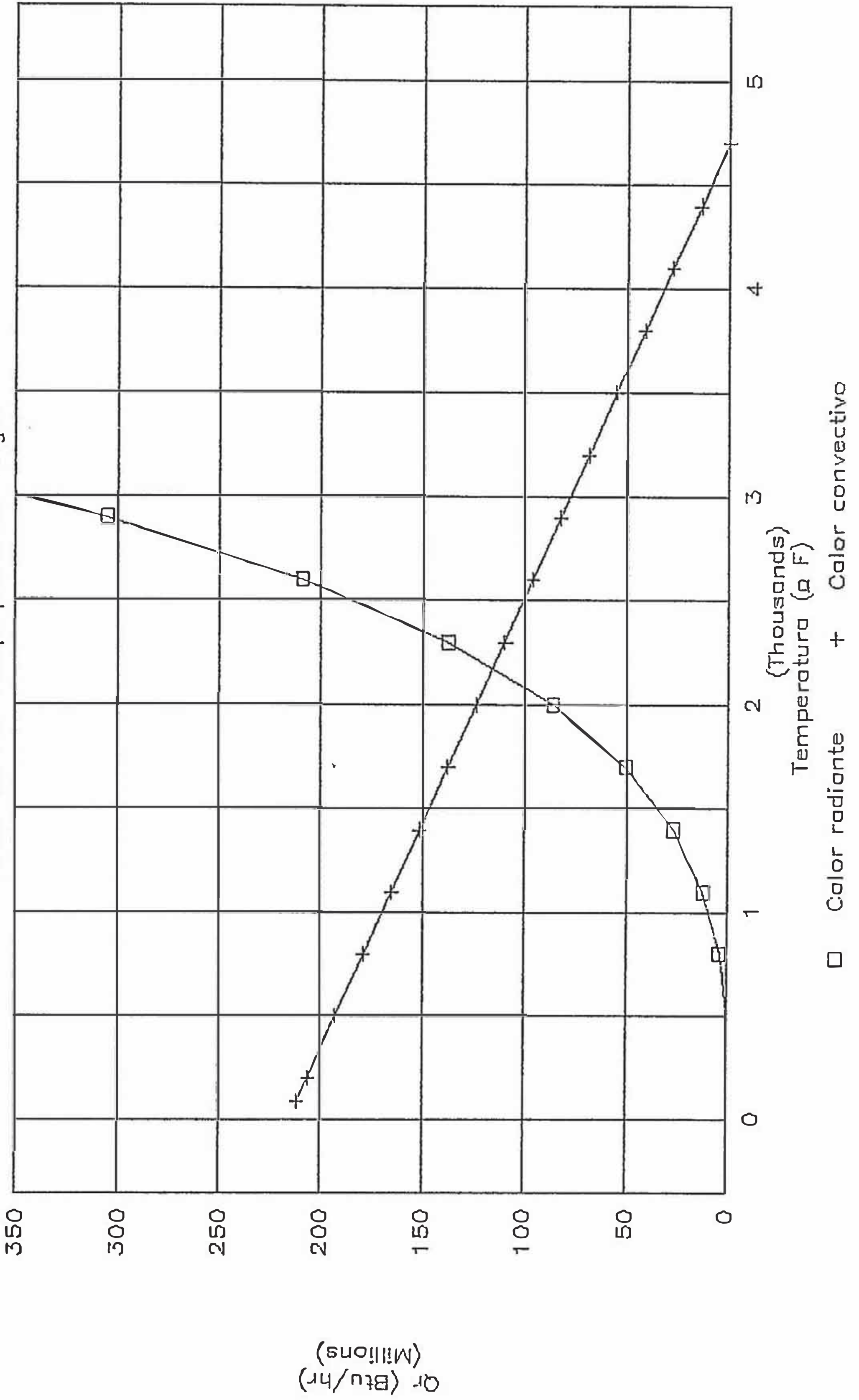
Por otro lado si nos ponemos en el otro caso extremo, en el cual todo el calor absorbido es por radiación;

$$\text{entonces } Q_r = 211'660,000 \text{ Btu/hr para } t_{g,x} = 850^\circ\text{F}$$

Entonces, utilizando estos dos pares de datos que como coordenadas son trasladados y yuxtapuestos sobre la misma Ilustración N<sup>o</sup> 10 (la cual se muestra en la página siguiente, conjuntamente con el Cuadro N<sup>o</sup> 2), obtenemos una línea recta que intercepta en un punto a la curva cuadrática previamente trazada.

# ILUSTRACION No 10.

Calculo Gráfico Temp. promedio Hogar



CUADRO No 2

CALCULO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS GASES  
EN EL HOGAR DE LA CALDERA

Tg (oF)	Tg (oR)		Qc
85	545		211,660,000
200	660		206,385,699
500	960		192,626,652
800	1,260	3,749,757	178,867,606
1,100	1,560	11,948,026	165,108,559
1,400	1,860	26,519,205	151,349,512
1,700	2,160	50,133,637	137,590,466
2,000	2,460	85,930,148	123,831,419
2,300	2,760	137,516,046	110,072,373
2,600	3,060	208,967,119	96,313,326
2,900	3,360	304,827,637	82,554,280
3,200	3,660	430,110,352	68,795,233
3,500	3,960	590,296,496	55,036,186
3,800	4,260	791,335,784	41,277,140
4,100	4,560	1,039,646,413	27,518,093
4,400	4,860	1,342,115,058	13,759,047
4,700	5,160	1,706,096,879	(0)

De este gráfico podemos concluir lo siguiente:

- 1.- La temperatura a la cual las dos curvas se interceptan, será a la cual se logrará el equilibrio en el hogar, que como se aprecia es igual a 2,180 °F.
- 2.- A dicha temperatura el calor radiante absorvido es de 115'000,000 Btu/hr.

Estos resultados obtenidos bajo un marco teórico apropiado, es necesario corroborarlos contra datos bibliográficos frutos de experiencias operativas reales:

a) Gaffert en la página 81 de su libro "Centrales a Vapor", precisa que entre un 50% a 70% del calor absorvido por el evaporador se debería realizar mediante el mecanismo de radiación.:

Entonces: Calor absorvido por radiación = 115'000,000 =  
 Calor total absorvido por el evaporador 162'640,000  
 = 70 % lo que es correcto!

b) El mismo libro precisa en su página 82, que el calor radiante que debe ser absorvido por las paredes del hogar de un generador de vapor debe oscilar entre 60,000 y 80,000 Btu/hr-pies<sup>2</sup>.

Entonces: Calor absorvido por radiación = 115'000,000 =  
 Area de las paredes del hogar (\*) 1,900  
 = 60,500 Btu/hra-pies<sup>2</sup>



c) Por otro lado en el Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, capítulo 9 y gráfico 28, se tiene representada la temperatura del hogar (que opera con combustible líquido), en función del calor total disponible en la cubierta del hogar.

Entonces : Calor total disponible = Calor total agregado

Area del hogar

$$= \frac{249'019,650 \text{ Btu/hr}}{1,900 \text{ pies}^2}$$

$$= 131,067 \text{ Btu/hr - pies}^2$$

Con este último dato y del gráfico mencionado,  $t = 2,200$  °F, Valor éste, que está bastante próximo al obtenido por nosotros (= 2,180 °F)

Concluimos entonces, que nuestros resultados, son valores que también guardan coherencia con datos prácticos.

#### 4.5.- Cálculo del sobrecalentador de calor.-

Obtenida la temperatura promedio de los productos de la combustión, entonces se procederá con el cálculo del sobrecalentador de calor, que es, el primer aparato térmico por el que atravesarán los gases calientes, transfiriendo fundamentalmente calor convectivo.



Como quedó determinado en el acápite 4.3, se requerirán 49'020,000 Btu/hora ( $Q_g$ ) de flujo calórico total para sobrecalentar los 190,000 lb/hr de vapor a una presión de 879.7 psia, desde su temperatura de saturación de 531 $\varnothing$  F hasta la temperatura requerida de 905 $\varnothing$  F.

Asimismo también, se tiene un flujo másico de gases calientes de 220,743 lb/hr, que ingresarán al sobrecalentador a una temperatura de 2,180  $\varnothing$ F, como se calculó en el acápite anterior.

Con estas dos consideraciones iniciales, entonces planteamos la siguiente ecuación de balance energético:

$$\text{Flujo calórico} = m_g \times C_g \times \delta t_g \dots (1)$$

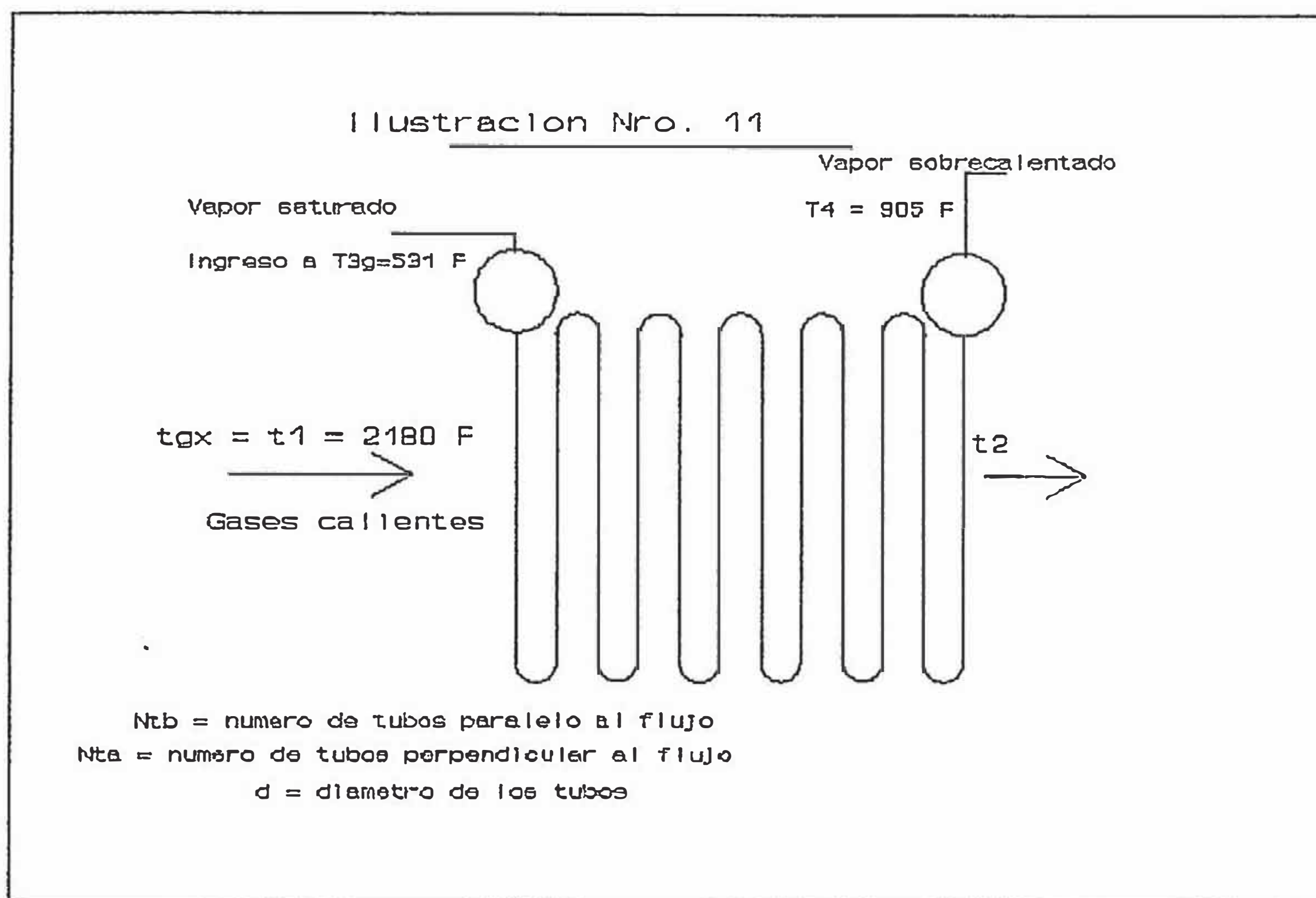
Donde:

$m_g$  = flujo másico de gases calientes

$C_g$  = Calor específico gases, a presión cte.

$\delta t_g$  = Diferencia temp's. de entrada y salida gases

En la siguiente Ilustración N $\varnothing$  11, que esquematiza el proceso podemos entonces identificar las variables de la fórmula planteada.



Reemplazando los valores conocidos en la fórmula (1) tenemos:

$$49'020,000 = 220,743 \text{ lb/hr} \times C_g \times (2,180 - t_2) \dots (2)$$

Quedan entonces por determinar el calor específico y la temperatura de salida de los gases ( $t_2$ ).

Pero  $C_g$  quedaría determinado si  $t_2$  fuese conocido, entonces, asumiendo  $t_2 = 1720 \text{ } ^\circ\text{F}$ , podemos a la Figura N<sup>o</sup> 1, extraído del libro Steam de la Babcock & Wilcox y

$$\text{con } t_2 + 2180 = 3,900 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{y } \% \text{ humedad en los gases} = 5.3 \% \text{ (ver}$$

acápite 4.2, Cuadro N<sup>o</sup>1.)

$$\text{obtenemos } C_g = 0.31 \text{ Btu/lb} - ^\circ\text{F}$$

Reemplazando en la fórmula (2),  $t_m = 1464$  °F,

Iterando nuevamente:

$$\text{con } t_m + 2180 = 3,644 \text{ °F}$$

$$\text{obtenemos } C_g = 0.304 \text{ Btu/lb - °F}$$

Con lo que nuevamente en la fórmula (2),  $t_m = 1450$  °F,

Valor que lo damos como aceptable.

De acuerdo a la ilustración Nº11 , para nuestro sobrecalentador :

La temperatura media logarítmica será:

$$\delta T_{m1} = \frac{(2180 - 531) - (1450 - 905)}{\ln [(2180-531)/(1450-905)]} = 997 \text{ °F}$$

$$\ln [(2180-531)/(1450-905)]$$

Las fórmulas de transferencia de calor que aplicaremos para determinar el área por intermedio del cual se desarrollarán los mecanismos de transferencia de calor, las extraemos del libro Steam de Babcock & Wilcox

Todas las figuras que se mencionarán en el desarrollo de los cálculos se presentan al final del capítulo:

$$U \times S \times \delta T_{m1} = w_g \times C_g \times \delta t_g \quad \dots (3)$$

Donde:

- $U = (U_g \times U_s) / [U_g \times U_s]$ , que es la conductancia combinada global de transferencia de calor, en Btu/pie<sup>2</sup>-hr-°F

- $U_g = U_{rg} + U_{cg} =$  conductancia global del lado del gas.
- $U_{rg} =$  Conductancia radiación del lado de gas.
- $U_{cg} =$  Conductancia convección - película de gas.
- $U_s =$  Conductancia convección película de vapor.
- $S =$  Superficie total de transferencia = pies<sup>2</sup>
- $\delta T_{m1} =$  temperatura media logarítmica.

Debe notarse que el efecto de la conductancia por la pared metálica es despreciada.

También debe precisarse que la superficie que se calcule de la fórmula (3), luego deberá reducirse en cierto grado, cuando se tenga en cuenta el efecto del calor radiante transmitido desde el hogar hacia la pared del sobrecalentador que "ve" el hogar. Véase ilustración N<sup>o</sup>9.

Como se precisó previamente la caída de temperatura a través del espesor de la pared es tan reducida que se puede despreciar, de allí que la temperatura de película del lado de gas, la podemos determinar del modo siguiente:

$$t_r = (T_4 + T_{\infty g}) \div 2 + \delta T_{m1}/2$$

donde el primer miembro de esta ecuación es la temperatura promedio aritmética del vapor a su paso por el sobrecalentador, que es, aproximadamente la misma que la temperatura promedio de la pared metálica de los tubos ( $t'_s = [905+531]/2=718^{\circ}\text{F}$ ).

Resolviendo:  $t_r = (905+531)/2 + 997/2 = 1217^{\circ}\text{F}$

En este punto es preciso establecer un arreglo de disposición para el sobrecalentador nuestro, y este se proyectará, teniendo en cuenta el espacio físico disponible:

1) Diámetro de tubos,  $D_s = 2 \frac{1}{8}"$ , asumiendo  $\text{esp} = 0.2"$

(Que será confirmado al ejecutar el diseño mecánico)

2) En la dirección perpendicular al flujo:

$$N_{ta} = \text{número de tubos} = 28$$

$$L_a = \text{dist. } \div \text{ centros} = 5"$$

$$A_p = \text{ancho del banco} = (N_{ta}-1) \times L_a = 27 \times 5 = 135"$$

3) En la dirección paralela al flujo

$$N_{tb} = \text{número de tubos} = \text{a determinar}$$

$$L_b = \text{dist. } \div \text{ centros} = 3"$$

4) Altura promedio de los tubos =  $H_s = 150"$

5) Ancho total del caldero =  $A_t = 13'-4"$

Entonces:

a) Area de una fila del banco de tubos:

$$A_{1f} = \pi (D_s) \times (H_s) \times N_{ta}$$



Reemplazando valores:  $A_{1f} = 195 \text{ pies}^2$

b) Area libre para el flujo de gases a través del sobrecalentador:

$$A_g = (A_t - N_{ta} \times D_s) \times H_s$$

Reemplazando valores:  $A_g = 105 \text{ pies}^2$

c) Area libre para el flujo de vapor a través de una fila de tubos:

$$A_s = N_{ta} \times \pi (D_s - \text{esp.})^2 / 4$$

Reemplazando valores:  $A_v = 0.454 \text{ pies}^2$

d) Flujos específicos:

De los gases calientes a través del banco de tubos:

$$w_g \div A_g = 220,743 \text{ lb/hr} \div 105 \text{ pies}^2 = 2,102 \text{ lb/hr-pie}^2$$

Del flujo de vapor por los tubos:

$$w_v \div A_s = 190,000 \text{ lb/hr} \div 0.454 \text{ pie}^2 = 418,502 \text{ lb/hr-pie}^2$$

Estos resultados los podemos confrontar contra la Tabla 4 - Del manual de Marks, pag 9-23 ; que, para una temperatura de vapor sobrecalentado entre 800 a 900°F precisa un flujo específico de vapor entre 400,000 a 500,000 lb/hr-pie<sup>2</sup>. Analizando los valores calculados, concluimos que estos guardan coherencia con valores prácticos.

Con los valores preliminares obtenidos, entonces



ahora podemos calcular "U", o el coeficiente global de transferencia de calor de la fórmula (3).

Como indicamos:  $U = [U_g + U_s] / [U_g \times U_s] \dots (\beta)$

$U_g = U_{rg} + U_{cg} =$  Conductancia convección lado gas

a)  $U_{rg} =$  Conductancia radiación lado de gas

$$U_{rg} = U'_r \times K \times F_s \dots (4)$$

$U'_r$ : Conductancia básica de radiación:

Figura N<sup>o</sup>2, con  $t'_s = 718^\circ\text{F}$  y  $\delta T_{m1} = 997^\circ\text{F}$

$$U'_r = 7.6$$

$P_r$  : Presión parcial de los gases que emiten radiación, atm.

Figura N<sup>o</sup>3 (b), con 115% aire total y

Poder calorífico  $P_c = 18,450$  Btu/lb

$$P_r = 0.22$$

$L$  : Longitud media radiante , pies.

Figura N<sup>o</sup>4 con:  $L_a/D_s = 5" \div 2.1/8" = 2.35$

$$\text{y } L_b/D_s = 3" \div 2.1/8" = 1.41$$

$$L/D_s = 0.35, L = 0.35 \times 2.1/8" = 0.744$$

$K$  : Factor de arreglo y de combustible,

Que es función de  $P_r \times L = 0.22 \times 0.744 = 0.33$

Figura N<sup>o</sup>5 con  $P_r \times L = 0.33$

$$K = 0.33$$

$F_s$  : Factor de corrección de la conductancia de radiación intertubular

$$F_s = [S_b - S_p] \div S_b$$

$S_b =$  superficie total del banco de tubos receptora de calor

$S_p =$  superficie proyectada del lado del

banco de tubos, por donde ingresa el  
flujo de gases calientes

Asumiendo inicialmente  $N_{tb} = 28$

Entonces:  $S_b = N_{tb} \times A_{1f} = 28 \times 195 = 5460$   
pies<sup>2</sup>

Asimismo  $S_p = A_p \times H_s = 141$  pies<sup>2</sup>

Resolviendo  $F_s = [5460 - 141] \div 5460 = 0.974$

Reemplazando estos valores calculados en la ecuación (4),

$$U_{rg} = U'_{r} \times K \times F_s$$

$$U_{rg} = 7.6 \times 0.33 \times 0.974 = 2.44 \text{ Btu/hr-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

b)  $U_{cg} =$  Conductancia convección - película de  
gas

$$U_{cg} = U'_{cc} \times F_{pp} \times F_a \times F_d \quad \dots \quad (5)$$

$U'_{cc}$ : Conductancia básica de convección:

Figura N<sup>o</sup>6, con  $w_g/A_g = 2,102$  y  $D_s = 2.1/8"$

$$U'_{cc} = 60 \text{ Btu/hr-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

$F_{pp}$ : Factor de propiedades físicas

Figura N<sup>o</sup>7, con %humedad en gases=5.3% y

$$t_r = 1217 \text{ }^{\circ}\text{F},$$

$$F_{pp} = 0.132$$

$K_{Ro}$ : Factor número de Reynolds

Figura N<sup>o</sup>8, con  $t_r = 1217 \text{ }^{\circ}\text{F}$  y  $D_s=2.1/8"$

$$K_{Ro} = 1.9$$

$N_{Ro}$ : Número de Reynolds

$$N_{Ro} = K_{Ro} \times w_g / A_g =$$

$$N_{Ro} = 1.9 \times 2,102 = 3994$$



De la Figura N<sup>o</sup> 11,  $\mu = 0.07$  lb (masa)/pies-hr y

De la Figura N<sup>o</sup> 12,  $C_s = 0.65$  Btu/lb- $\text{ }^{\circ}\text{F}$

Resolviendo entonces la ecuación plantada:

$$U_s = \frac{0.0266}{\left(\frac{1.725}{12}\right)^{0.2}} (418,502)^{0.8} 0.65 (0.07)^{0.2} \frac{1.725}{2.125}$$

$$U_s = 382 \text{ Btu/hr-pie}^2\text{- }^{\circ}\text{F}$$

Finalmente entonces reemplazando  $U_g$  y  $U_s$  en la ecuación ( $\beta$ ):

$$U = [U_g + U_s] / [U_g \times U_s]$$

$$U = [8.14 + 382] / [8.14 \times 382]$$

$$U = 7.98 \text{ Btu/hr-pie}^2\text{- }^{\circ}\text{F}$$

Entonces en la ecuación de transferencia de calor (3) planteada líneas arriba:

$$U \times S \times \Delta T_{m1} = w_g \times C_g \times \Delta t_g = 49'020,000 \text{ Btu/hr}$$

$$S(\text{pies}^2) = 49'020,000 / [7.98 \times 997^{\circ}\text{F}]$$

$$S = 6,163 \text{ pies}^2.$$

Corrección de la superficie por radiación absorbida del hogar.-

Como lo señalamos previamente, la superficie calculada de 6,163 pies<sup>2</sup>, debe ajustarse debido al efecto que se produce, cuando un lado del sobrecalentador "ve" el hogar de la caldera, Ver Ilustración Nro. 9.

Los Btu/hr absorbidos por el sobrecalentador desde el hogar de la caldera, es el producto de la conductancia de radiación  $U_{rg}$ ; la superficie plana proyectada del sobrecalentador que "vé" el hogar  $S_p$ ; y de la diferencia de temperatura de radiación media  $\delta T_m$  entre, la temperatura media de los gases y la temperatura de la superficie del sobrecalentador.

La Conductancia de radiación de la cavidad,  $U_{rg}$  es el producto de la conductancia de radiación básica,  $U'_r$  (de la Figura N<sup>o</sup> 2) y el factor  $K$ , (de la Figura N<sup>o</sup> 5).

La superficie  $S_p$ , con los datos conocidos sería:

$$S_p = A_p \times H_s = (135"/12) \times (150"/12) = 141 \text{ pies}^2.$$

La temperatura promedio de la superficie del sobrecalentador, que recibe la radiación de la cavidad es aproximadamente igual a la de entrada del vapor al sobrecalentador (Ver Ilustración N<sup>o</sup> 9), es decir 531 °F.

La temperatura de los gases en la cavidad es la de equilibrio del hogar que ya fué calculada, en 2,180 °F.

Por tanto la diferencia de temperatura radiante media, será  $\delta T_m = 2180 - 531 = 1649$  °F.

Entonces:

$U'_r$ : Figura N<sup>o</sup> 2, con  $\delta T_m = 2180$  °F, y la temperatura



de la superficie receptora = 531°F.

$$U'r = 10 \text{ Btu / hr-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F.}$$

K: Figura N°27, K=0.95

Por tanto: Btu/hr radiante =  $U'r \times K \times Sp \times \delta T_m =$

$$10 \times 0.95 \times 141 \times 1649 = 2'208,836 \text{ Btu /hr}$$

Finalmente la superficie corregida será:

$$S = [49'020,000 - 2'208,836] / [7.98 - 997]$$

$$S = 5883 \text{ pies}^2.$$

El número de tubos en la dirección paralela será finalmente:

$$N_{tb} = S \div A_{1f}$$

$$N_{tb} = 5883 \div 195 = 30 \text{ filas.}$$

La temperatura de los gases a la salida del sobrecalentador también se corregirá por el mismo efecto:

$$t_2 = 2180 - [49'020,000 - 2'208,836] \div [220,743 \times 0.3]$$

$$t_2 = 1475 \text{ }^{\circ}\text{F.}$$

#### 4.6.- Cálculo del Evaporador.-

En el acápite 4.4 determinamos que de los 162'640,000 Btu/hr requeridos para llevar el agua de alimentación desde el punto de salida del economizador hasta su estado de vapor saturado, 115'000,000 Btu/hr iban a ser transferidos a través de las paredes que rodean al hogar por intermedio del mecanismo de radiación cuando el hogar,



alcanza su temperatura de equilibrio de 2,180 °F.

En consecuencia el flujo calórico neto que deberá ser absorbido en la zona convectiva del evaporador será:

$$162'640,000 - 115'000,000 = 47'640,000 \text{ Btu/hr}$$

Planteamos entonces la ecuación de balance energético:

$$\text{Flujo calórico} = m_g \times C_g \times \delta t_g \dots (1)$$

Donde el significado de cada uno de las variables fueron explicadas en el caso del cálculo del sobrecalentador y que pueden ser identificadas si nos remitimos a la Ilustración 12. Para el caso específico del evaporador,  $\delta t_g = t_{22} - t_{23}$ , con  $t_{22} = 1475^\circ\text{F}$ , calculado líneas arriba.

Reemplazando los valores conocidos en la fórmula (1) tendremos:

$$47'640,000 \text{ Btu/hr} = m_g \times C_g \times (1475 - t_{23}) \dots (2)$$

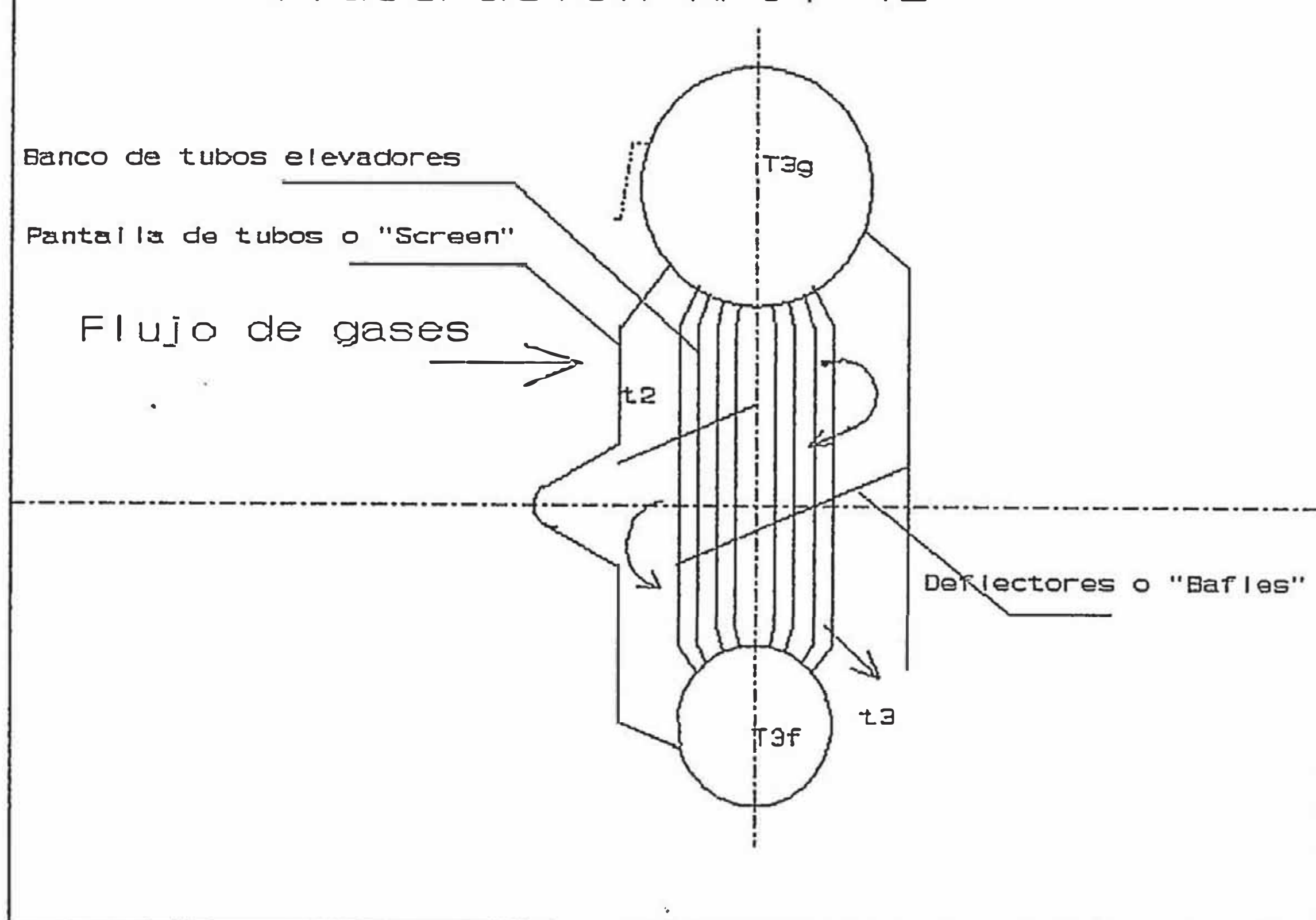
$$\text{Asumiendo } t_{23} = 700^\circ\text{F},$$

Figura N°1, con humedad en gases de 5.3% (Cuadro N°1) y con  $t_{22} + t_{23} = 1475 + 700 = 2175^\circ\text{F}$

$$C_g = 0.284 \text{ Btu} / \text{lb} - ^\circ\text{F}$$

Entonces de la ecuación (2), despejando  $t_{23} = 715^\circ\text{F}$ , valor que lo damos como aceptable.

Ilustración Nro. 12



Podemos resumir entonces los siguientes valores:

Temperatura de ingreso de los gases calientes:  $t_2 = 1475 \text{ } ^\circ\text{F}$

Temperatura de salida de los gases calientes :  $t_3 = 715 \text{ } ^\circ\text{F}$

Temperatura de saturación del agua :  $T_{3f} = 531 \text{ } ^\circ\text{F}$

Al igual que en caso del cálculo del evaporador, aplicaremos fórmulas y correlaciones planteadas en el libro "Steam" de la Babcock & Wilcox así como fórmulas teóricas adecuadas:

$$\text{Flujo calorífico} = U \times S \times \delta T_{m1} = 47'640,000 \text{ Btu/hr ... (3)}$$

Donde:

- U = Conductancia global combinada Btu/hr -pies<sup>2</sup>- °F
- U = U<sub>g</sub> = U<sub>rg</sub> + U<sub>cg</sub> ; Conductancia global lado de gases: en el evaporador solo se toma la conductancia por el lado de gases, debido a que las conductancias de la pared del tubo y de la película de ebullición nucleada en los tubos, al tener muy poca resistencia al paso del flujo calórico, con fines prácticos se desprecian.
- U<sub>rg</sub> = conductancia radiación lado de gases.
- U<sub>cg</sub> = conductancia convección lado de gases
- S = Superficie de transferencia (pies<sup>2</sup>).
- $\delta T_{m1}$  = temperatura media logarítmica.

Para el caso del evaporador:

$$\delta T_{m1} = [1475 - 715] \div \ln [(1475-531) / (715-531) ]$$

$$\delta T_{m1} = 465 \text{ °F.}$$

De acuerdo a lo señalado por nosotros en la Introducción de la presente Tesis, existen dimensiones físicas existentes que nosotros debemos permanente observar, en razón de que el diseño del presente caldero debe ser capaz de ocupar el espacio actualmente disponible.

En razón de ello, por ejemplo por el lado de la anchura, la nueva unidad tiene la restricción que no deberá sobrepasar los 13'-4" (At), explicado también en el

análisis hecho para el sobrecalentador.

En cuanto a la altura, si bien es cierto que, en términos relativos no hay restricción física, si lo hay si es que el concepto de Circulación es tomado en consideración.

En la vista que efectué al lugar de la Planta pude efectuar medidas de campo, lo que me daría alguna referencia de medidas, es por ello que, a efectos del presente trabajo tomamos una distancia entre centros de domos igual a 32 pies. y una longitud promedio de los tubos en el banco convectivo del evaporador de 28'-2" (28.16").

Estableceremos entonces, un arreglo de disposición física:

1) Diámetro de tubos,  $D_v = 2"$  (exterior)

2) En la dirección perpendicular al flujo:

$N_{ta} = \text{número de tubos} = 39$

$L_a = \text{distancia } \div \text{ centros} = 4"$

$A_p = \text{ancho del banco} = (N_{ta}-1) \times L = 39 \times 4 = 152"$

3) En la dirección paralela al flujo:

$N_{tb} = \text{número de filas} = \text{a determinar.}$

$L_b = \text{dist. } \div \text{ centros} = 4.3/4"$

4) Altura promedio de los tubos =  $H_v = 28.16 \div 3 =$

9.4' (Esto en razón que se está proyectando que

el evaporador disponga de "baffles" para que los gases calientes efectuen 3 pases por el banco de tubos.

Entonces:

a) Area de una fila del banco de tubos:

$$A_{1f} = \pi (D_v) \times (H_v) \times N_{ta}$$

Reemplazando valores:  $A_{1f} = 575 \text{ pies}^2$

b) Area libre para el flujo de gases a través del banco del evaporador:

$$A_g = (A_p - N_{ta} \times D_v) \times H_v$$

Reemplazando valores:  $A_g = (12.667 - 39 \times 2/12) \times 9.4 =$   
 $A_g = 58 \text{ pies}^2 .$

c) Flujo específico de los gases calientes a su paso a través del banco de tubos:

$$w_g \div A_g = 220,743 \text{ lb/hr} \div 58 \text{ pies}^2 = 3,806 \text{ lb} / \text{hr-pies}^2.$$

Resolveremos ahora la ecuación planteada previamente:

$$U = U_g = U_{rg} + U_{cg}$$

Donde:

í)  $U_{rg}$  : representa la transferencia de calor radiante desde el fluido caliente (gases a través del banco de tubos) hacia la superficie más fría, por tanto es una función de  $\delta T_{m1}$ .

La relación entre la Conductancia de radiación



básica, designada como  $U'r$  y  $\delta T_{m1}$  está dada en la Figura N02. Esta conductancia  $U'r$ , luego debe ser modificada por otros factores para obtener el valor de  $Urg$  para un conjunto específico de condiciones. Así esta relación está dada por la siguiente relación:

$$Urg = U'r \times K \times Fs \quad \dots\dots\dots(4)$$

Las variables que constituyen esta ecuación fueron claramente definidas cuando se calculó el sobrecalentador de calor:

$U'r$  :Figura N02, con  $T_m=531$  °F y  $\delta T_{m1} = 465$  °E

$$U'r = 3.9$$

$Pr$  :Figura N03 (b), con 115% aire total y  $Pc = 18450$  Btu/lb

$$Pr = 0.22$$

$L$  : Figura N04, con  $La/Dv = 4" \div 2" = 2$

$$y \quad Lb/Dv = 4.3/4" \div 2" = 2.375$$

$$L/Dv = 0.43 ; \quad L = 0.43 \times 2 = 0.86$$

$K$  : Figura N05, con  $Pr \times L = 0.22 \times 0.86 = 0.19$

$$K = 0.40$$

$Fs$  :  $Sb = A_{1r} \times Ntb$  (Asumiendo inicialmente  $Ntb=14$ )

$$Sb = 575 \times 14 = 8092 \text{ pies}^2$$

$$Sp = Ap \times Hv =$$

$$Sp = [152 / 12 ] \times 9.4 = 119 \text{ pies}^2$$

$$Fs = [Sb - Sp] \div Sb = [8092-119] \div 8092 = 0.985$$

Sustituyendo los datos obtenidos en la ecuación (4)



planteada líneas arriba:

$$U_{rg} = 3.9 \times 0.4 \times 0.985$$

$$U_{rg} = 1.54 \text{ Btu / hr} - \text{pies}^2 - \text{°F}$$

ii)  $U_{cg}$  : que es la conductancia de convección que depende fundamentalmente del flujo másico de gases a través del banco de tubos. Al igual que en el caso anterior existe una conductancia de convección básica  $U'_{cc}$  (mencionada también en el cálculo del sobrecalentador), cuya relación con el flujo másico de gases  $w_g/A_g$ , para diversos diámetros de tubos esta graficada en la Figura N°6 para flujo cruzado.

Esta conductancia de convección básica  $U'_{cc}$ , también debe ser modificada por otros factores para obtener el valor final de  $U_{cg}$ , para un conjunto específico de condiciones particulares. La relación correspondiente es:

$$U_{cg} = U'_{cc} \times F_{pp} \times F_a \times F_d \quad \dots (5)$$

$U'_{cc}$ : Figura N°6, con  $w_g/A_g = 3806$  y  $D_v = 2''$

$$U'_{cc} = 88.0$$

$F_{pp}$ : Figura N°7, pero previamente calcularemos la temperatura de película  $t_f$ .

$$t_f = \{2 \times T_{\infty} + \delta T_{m1}\} / 2 = \{2 \times 531 + 465\} / 2 = 764 \text{ °F}$$

entonces con %humedad en gases=5.3% y  $t_f=764\text{°F}$

$$F_{pp} = 0.117$$

$K_{Ro}$ : Figura N°8, con  $t_f=764\text{°F}$  y  $D_v=2''$

$$K_{Ro} = 2.0$$

$$N_{Re} = K_{Re} \times w_g / A_g = 2.0 \times 3806 = 7612$$

Fa: Figura N<sup>o</sup>9, con  $N_{Re} = 7612$ ,  $La/Dv = 2$  y  
 $Lb/Dv = 2.375$

$$Fa = 1.00$$

Fd: Figura N<sup>o</sup>10, para un banco de 14 filas de  
 profundidad

$$Fd = 1.00$$

Reemplazando los valores obtenidos en la Ecuación (5)

$$U_{cg} = 88 \times 0.117 \times 1.0 \times 1.0$$

$$U_{cg} = 10.3 \text{ Btu/hr-pies}^2 - \underline{QF}$$

La conductancia global combinada U, será entonces:

$$U = U_{rg} + U_{cg} = 1.54 + 10.30 = 11.84 \text{ Btu/hr-pies}^2 - \underline{QF}$$

Sustituyendo el valor de U obtenido en la Ecuación (3), nos permitirá finalmente determinar la superficie total de transferencia de calor:

$$S = 47'640,000 / \{11.84 \times 465\}$$

$$S = 8,653 \text{ pies}^2$$

Finalmente el número de filas en la dirección paralela al flujo:

$$N_{tb} = S \div A_{1r} = 8653 \div 575$$

$$N_{tb} = 15 \text{ filas.}$$

Un último ajuste es requerido para dejar expedito el

cálculo del evaporador. Y es que, previo al banco de tubos de convección de evaporador, debe proveerse una pantalla ("Screen"), de acuerdo al modelo de generador de vapor escogido para nuestro diseño. Esta pantalla tiene por función el impedir que el flujo de gases calientes del hogar incidan directamente sobre el banco, y propician el que dicho flujo se oriente primeramente hacia el sobrecalentador y luego hacia el banco de tubos del evaporador convectivo. Estimando en 360 pies<sup>2</sup> el área de transferencia efectiva de calor, entonces:

$$N_{tp} = [8653 - 360] \div 575 \quad 14 \text{ filas .}$$

#### 4.7.- Cálculo del Economizador.-

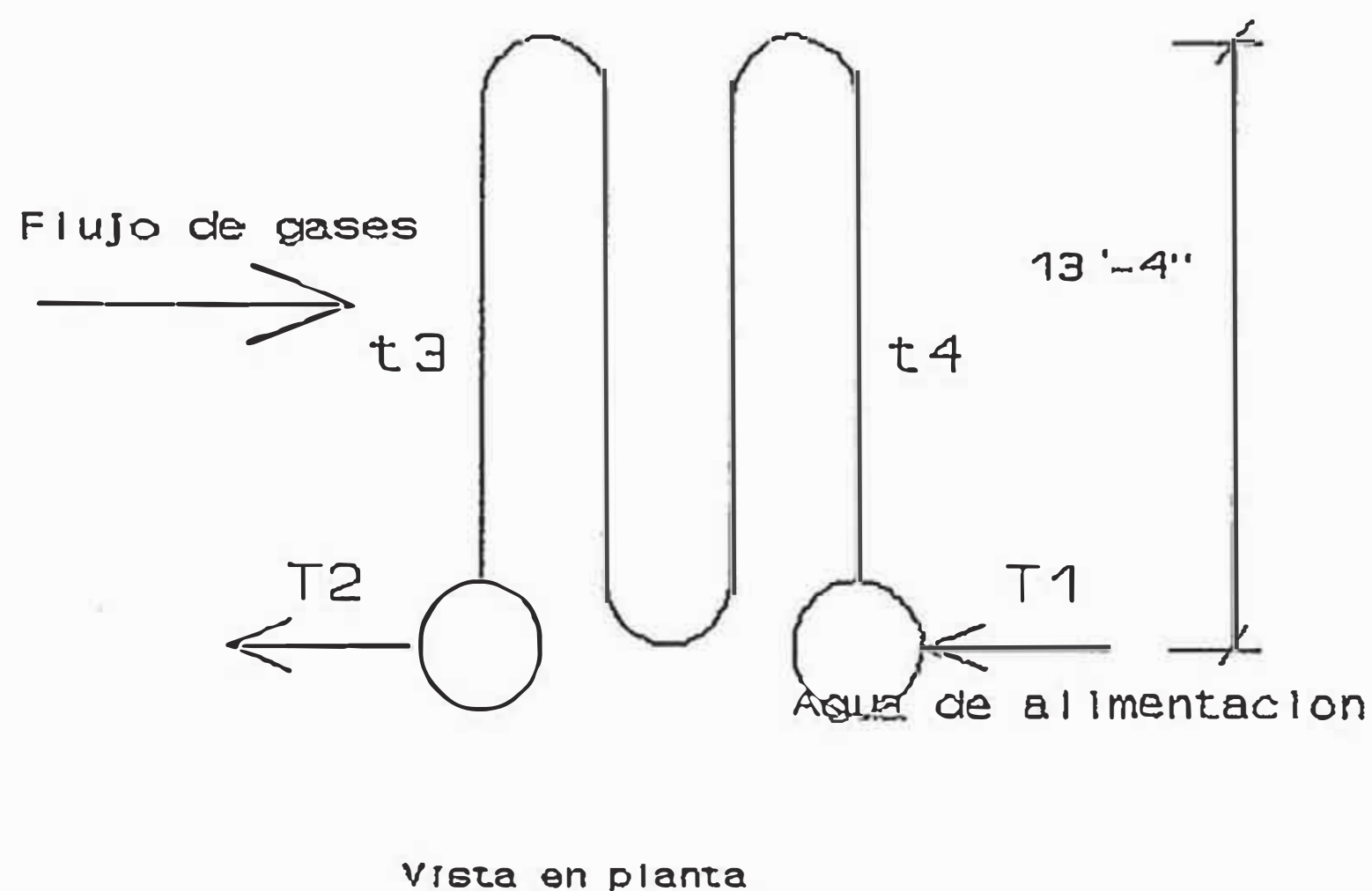
Debo precisar previamente que al ser suministrado el agua de alimentación a 360°F; (Condición estipulada por Hierro Perú, producto de un previo proceso de calentamiento en un calentador regenerativo existente ), considero que la presencia de un economizador ya no sería necesaria, ya que este aparato siempre presenta costosos problemas operativos además que aumenta el costo inicial de la inversión sin que para este caso se logre un importante incremento en la eficiencia global de la caldera debido a que el agua es entregada precalentada.

Sin embargo, concordante con lo solicitado por Hierro

Perú, proyectaremos un economizador que "levante" la temperatura de alimentación del agua de alimentación en solo 5 °F, para que el efecto costo de inversión inicial eficiencia se mantenga dentro de límites adecuados. Asimismo se busca el que la temperatura de los gases calientes no disminuya en un alto grado de modo que exista una adecuada disponibilidad que permita efectuar el calentamiento del aire de alimentación que si presentará mayores ventajas de operación y de ganancia en la eficiencia global de la caldera.

Al igual que en el caso del sobrecalentador en la Ilustración Nº 13 se muestra un esquema del economizador en estudio.

### Ilustración Nro. 13



La temperatura  $t_3$  fué calculada en el acápite anterior y corresponde a la temperatura de salida de los gases del evaporador, entonces  $t_3 = 715$  °F.

Planteamos entonces la ecuación de balance energético:

$$m_a \times C_{pa} \times \delta T_a = m_g \times C_{pg} \times \delta t_g \dots (1)$$

Donde:

$m_a$  = flujo másico del agua de alimentación, lb/hr

$C_{pa}$  = Calor específico medio del agua de aliment. Btu/lb-°F

$\delta T_a$  = Diferencia de temp.'s de entrada y salida del agua, °F

$m_g$  = flujo másico de los gases calientes



$C_{pg}$  = Calor específico medio de los gases calientes.

$\delta t_g$  = Diferencia de temp.'s de entrada y salida de gases.

El calor específico del agua de alimentación a un promedio de 360 °F (~180 °F) es de acuerdo a tablas = 1.05 Btu/lb- °F (bibliografía académica).

Reemplazando todos los valores obtenidos y conocidos en la Ecuación (1), tenemos:

$$190,000 \text{ lb/hr} \times 1.05 \text{ Btu/lb-}^\circ\text{F} \times (365 - 360) =$$

$$997,500 \text{ Btu/hr} = 220,743 \text{ lb/hr} \times C_{pg} \times (715 - t_4)$$

Suponiendo  $t_4 = 695$  °F, con la Figura N°1:  $C_{pg} = 0.26$

Entonces:  $t_4 = 715 - 997,500 \div [220,743 \times 0.26]$

$$t_4 = 698 \text{ }^\circ\text{F}$$

Calcularemos ahora la diferencia de temperaturas media logarítmica:

$$\delta T_{m1} = [(t_3 - T_2) - (t_4 - T_1)] \div \text{Ln} \left[ \frac{t_3 - T_2}{t_4 - T_1} \right]$$

Reemplazando valores:  $\delta T_{m1} = 344$  °F

A continuación estableceremos el "arreglo" de disposición física para el economizador:

- 8 espiras en línea con una distancia entre espiras de 6" ( $L_a$ ), localizadas una sobre otra, ocupando la



altura del ducto de salida de gases.

- Diámetro exterior de tubos:  $De = 2''$
- La altura del banco será entonces  $(8-1) \times 6 = 42''$   
(=Hs)
- Las espiras ocuparán el ancho del ducto que, de acuerdo al modelo escogido, será la del ancho total del hogar ya definido en  $13'-4''$  (Ap).
- La distancia entre centros en la dirección paralela al flujo de gases será de  $4''$  (Lb).
- Por intermedio del presente acápite se determinará el área de transferencia de calor y por ende el número de tubos por cada espira (Ntb).

Área de una fila de tubos:  $A_{1f}$

$$A_{1f} = \pi(2/12) \times (13'-4'') \times 8$$

$$A_{1f} = 55.85 \text{ pies}^2$$

Área libre para el paso del flujo de gases calientes:

$$A_g = ( [42'' - 8 \times 2''] \div 12 ) \times 13.33'$$

$$A_g = 28.888 \text{ pies}^2$$

$$w_g/A_g = 220,743 \text{ lb/hr} \div 28.88 = 7,641 \text{ lb/hr-pies}^2$$

Ecuación de transferencia de calor:

$$997,500 \text{ Btu/hr} = U \times S \times \delta T_{m1} \quad \dots (2)$$

Donde:

$$U = U_{rg} + U_{cg} \quad \dots (3)$$

- El significado de cada una de las variables fué claramente precisada en los acápites del cálculo del sobrecalentador y evaporador respectivamente.

$$- \quad U_{rg} = U'_{r} \times K \times F_s \quad \dots (4)$$

$U'_{r}$ : Figura N02, para  $t'_{\sigma} = [360+365] \div 2 = 362.5$

$$\text{y } \delta T_{m1} = 344 \text{ } \square F$$

$$U'_{r} = 1.5 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}\square F$$

$Pr$ : 0.22 ( ya calculado en los dos acápites previos)

$L$  : Figura N04 con:  $L_a/De = 6" \div 2" = 3$  y

$$L_b/De = 4" \div 2" = 2$$

$$L/D_v = 0.6; \text{ por tanto } L = 2" \times 0.6 = 1.2$$

$K$  : Figura N05, con  $Pr \times L = 0.22 \times 1.2 = 0.264$

$F_s$ :  $S_b = A_{1f} \times N_{tb} = ( * \text{ Asumiendo } N_{tb} = 4)$

$$S_b = 55.85 \times 4 = 223 \text{ pies}^2$$

$$S_p = H_s \times A_p = (42"/12) \text{ pies} \times 13'-4" = 46.6$$

$$\text{pies}^2$$

Entonces como se definió  $F_s = [S_b - S_p] \div S_b$

$$F_s = 0.79$$

Reemplazando los valores obtenidos en (4)

$$U_{rg} = 1.5 \times 0.48 \times 0.79$$

$$U_{rg} = 0.57 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}\square F$$

$$- \quad U_{cg} = U'_{cc} \times F_{pp} \times F_a \times F_d \quad \dots (5)$$

$U'_{cc}$ : Figura N06, con  $w_{\sigma}/A_{\sigma} = 7,641$  y  $De = 2"$

$$U'_{cc} = 135 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}\square F$$

$F_{pp}$ : Figura N07 , pero  $t_r = t'_{\sigma} + \delta T_{m1}/2$

$$t_r = 362.5 + 344/2 = 535 \text{ } ^\circ\text{F},$$

y con el % de humedad en gases = 5.3%

$$F_{pp} = 0.11$$

$K_{Ro}$ : Figura N08, con  $t_r = 535 \text{ } ^\circ\text{F}$  y  $De=2''$

$$K_{Ro} = 2.5$$

$N_{Ro}$ : que es igual a  $(w_g/Ag) \times K_{Ro} = 7,641 \times 2.5$

$$N_{Ro} = 19,103$$

$F_a$ : Figura N09, con  $N_{Ro} = 19,103$  y  $La/De = 3$  y

$$Lb/De = 2$$

$$F_a = 1.0$$

$F_d$ : Figura N010, para un banco de 4 filas de profundidad,  $F_d = 0.91$

Reemplazando los valores obtenidos en (5)

$$U_{cg} = 135 \times 0.11 \times 1.0 \times 0.91$$

$$U_{cg} = 13.5 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Reemplazando  $U_{rg}$  y  $U_{cg}$  en la Ecuación (3)

$$U = U_{rg} + U_{cg}$$

$$U = 0.57 + 13.5$$

$$U = 14 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

En la Ecuación (2)

$$S = 997,500 \div [14 \times 344]$$

$$S = 207 \text{ pies}^2$$

Finalmente:  $N_{tb} = S \div A_{1f}$

$$N_{tb} = 207 \div 55.85 = 4 \text{ filas}$$

#### 4.8 Cálculo del precalentador de aire.-

Como se menciona en el acápite 3.4 - d, Hierro Perú solicita que se proyecte un precalentador de aire del tipo regenerativo Ljunstrom.

Los precalentadores de tipo regenerativo se basan en un principio diferente al del tipo coraza - haz de tubos. En la Ilustración Nº 14 que se muestra más adelante, puede apreciarse su aspecto general. Esta provisto de un rotor accionado por un motor de unos 2 a 4 HP, y que debe incluir un sistema de reducción de modo que el rotor gire a una velocidad de rotación de unas tres revoluciones por minuto.



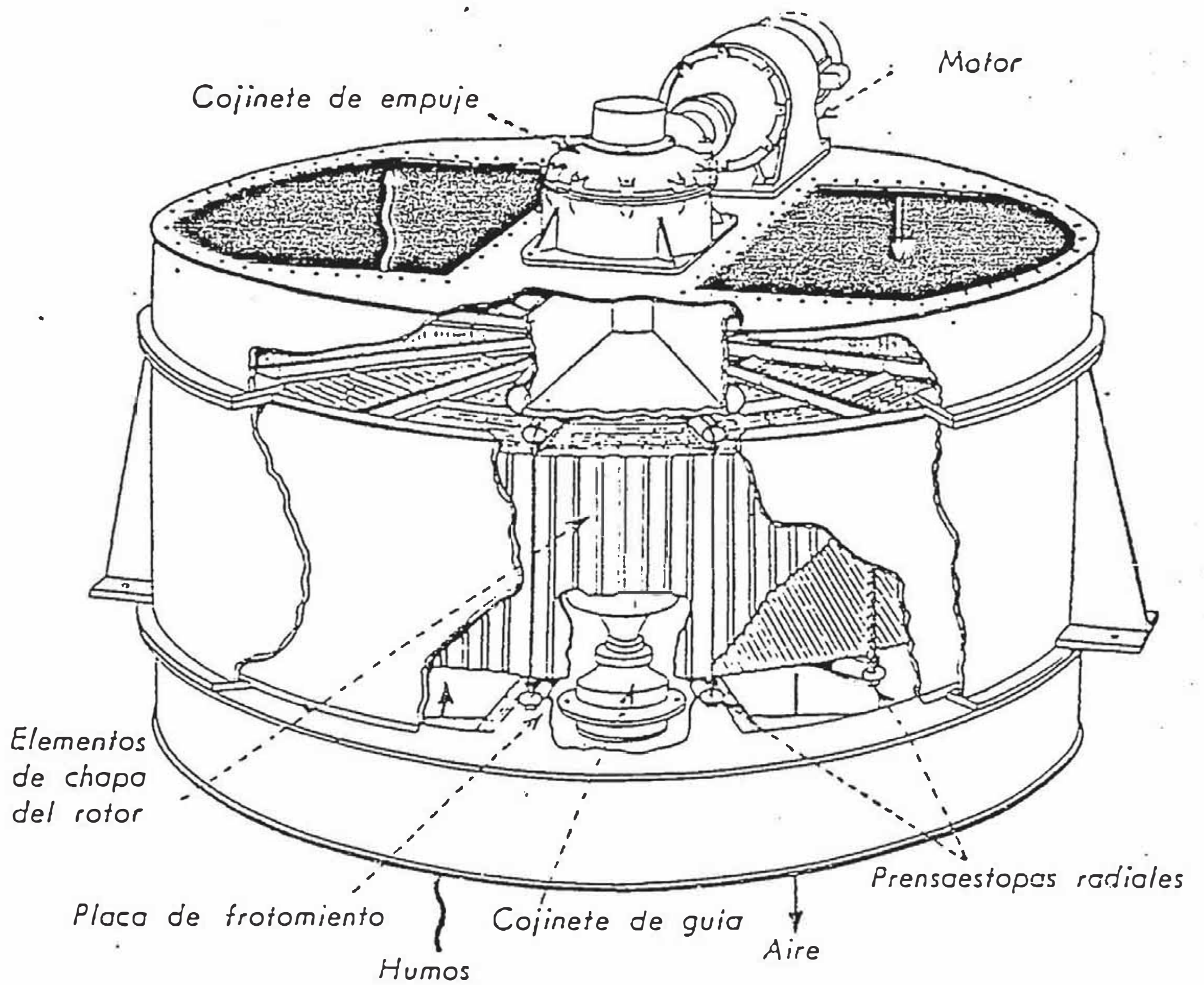


Ilustración Nro. 14

Esquema físico de un precalentador regenerativo del tipo Ljungstrom (Gaffert)

Estos precalentadores pueden ser instalados de modo vertical como en la figura o de modo horizontal, como será en nuestro caso, sin que se vea afectada la operatividad del equipo. El corte - vista de la Ilustración muestra un sector por encima y por debajo del rotor, que es fijo y separa las secciones de humo y de aire. El rotor está provisto además de varias empaquetaduras radiales que rozan contra las placas del fondo y del techo que evitan al máximo la entrada de los humos en el sector del aire fresco o viceversa.

Los elementos del rotor son planchas con grandes ondulaciones entre hojas onduladas, siendo perpendiculares ambas ondulaciones.

En funcionamiento normal, el humo del hogar asciende a través de la parte del rotor a él destinada y calienta las planchas. Al girar el rotor esta sección pasa a la zona de aire y entrega el calor almacenado al aire que actúa como refrigerante.

Una comparación global indicaría que este calentador es mucho más compacto que del tipo coraza-tubos, siendo por ende preferido en instalaciones que precisen ahorro de espacio físico que representa nuestro caso.

La temperatura de ingreso de los gases calientes será



la misma que la de salida del economizador, es decir  $t_4 = 698 \text{ } ^\circ\text{F}$ .

La temperatura de ingreso del aire fresco será la del ambiente,  $t_{a1} = 85 \text{ } ^\circ\text{F}$

La temperatura del aire a su salida del calentador de aire será la asumida en el acápite 4.4,  $t_{a2} = 470 \text{ } ^\circ\text{F}$ .

Planteamos entonces la ecuación de balance energético

$$m_g \times C_{pg} \times (t_4 - t_s) = m_a \times C_{pa} \times (t_{a2} - t_{a1}) \dots (1)$$

Donde:

$C_{pa}$  : Calor específico promedio de los gases  
 $= (470 + 80) \div 2 = 275 \text{ } ^\circ\text{F}$

$C_{pa} = 0.242$  (Bibliografía académica)

Como  $m_a = 207,260 \text{ lb/hr}$  (flujo másico del aire), calculado en el acápite 4.3, entonces el segundo miembro de la ecuación planteada se puede determinar:

$$\begin{aligned} &= 207,260 \times 0.242 \times (470 - 85) \\ &= 19'310,414 \text{ Btu /hr} \end{aligned}$$

que sería el flujo calórico requerido por el precalentador de aire.

En cuanto a la temperatura  $t_s$  de salida de los gases, productos de la combustión, esta debe verificar que no sea inferior a la de la condensación de la humedad en los

gases ; también debe tomarse en cuenta que las pequeñas concentraciones de trióxido de azufre se combinan con el vapor de agua existente en los gases, la temperatura de rocío de esta solución ácida es de 250 a 300°F, temperaturas que por cierto son superiores a las de rocío de solo el vapor existente en los gases.

Por lo tanto se procurará que la temperatura de salida de los gases sea superior en unos 50 °E a dicha peligrosa temperatura. Es decir no debe ser inferior a 350 °F.

Por lo tanto si asumimos  $t_5 = 360$  °E

Para  $t_4 + t_5 = 698 + 360 = 1,058$  °E y

con 5.3% de humedad en gases

Figura N°1:  $C_{pg} = 0.26$

Reemplazando en la ecuación (1):

$$t_5 = 698 \text{ °F} - 19'310,414 / \{220,743 \cdot 0.26\}$$

$t_5 = 362$  °F, valor que cumple el requisito de ser superior a los 350°F precisados y por tanto lo damos como aceptable.

La diferencia de temperaturas media logarítmica será para el caso de este aparato térmico:

$$\delta T_{m1} = [(t_4 - t_{a2}) - (t_5 - t_{a1})] \div \ln [(t_4 - t_{a2}) / (t_5 - t_{a1})]$$

Reemplazando todas las variables que ya están determinadas:

$$\delta T_{m1} = 252 \text{ } ^\circ\text{F}$$

La ecuación de transferencia de calor será:

$$\text{Flujo calórico} = U \times S \times \delta T_{m1} \dots (2)$$

El flujo calórico ya fue determinado previamente y es de 19'310,414 Btu/hr.

Intentar efectuar un ensayo de cálculo de superficie de transferencia de calor, para este tipo especial de aparato térmico, implicaría un largo y detallado desarrollo de un adecuado marco teórico que nos permita aplicar las fórmulas adecuadas, aspecto este que está fuera de los alcances del presente trabajo. Por ello para el caso específico del presente equipo fue necesario el que me constituya ante la firma "Industrial Lima S.A", firma que tiene la exclusiva representación de la prestigiosa compañía colombiana "DISTRAL S.A.", que fabrica precalentadores del tipo solicitado bajo licencia de la mundialmente conocida "Combustion Engineering Air Preheaters".

Con los datos de operación calculados párrafos arriba :

Gases caliente: Temp. de ingreso = 698  $^{\circ}\text{F}$

Temp. de salida = 362 °F  
 Flujo másico = 220,743 lb/hr

Aire fresco: Temp. de ingreso = 85 °F  
 Temp. de salida = 470 °F  
 Flujo másico = 207,260 lb/hr

Datos que fueron confirmados como coherentes para el diseño del precalentador de aire (Por Distral S.A.) ; ellos para nuestro caso "seleccionaron", el siguiente modelo de precalentador:

Tipo y tamaño : 16-1/2 HKX 35-1/2  
 Arreglo : Horizontal  
 Mecanismo motriz: 3 HP / 60 Hz  
 Superficie de transferencia : 11,400 pies<sup>2</sup>  
 Sección libre para flujo de gases: 14 pies<sup>2</sup>

Luego he procedido con chequear estos valores suministrados contra algún dato proporcionada por en la bibliografía especializada.

Para ello reemplazaremos el valor de la superficie de transferencia suministrado en la Ecuación (2), y obtendremos:

$$U = 19'370,414 \div \{11,400 \times 252 \}$$

$$U = 6.74 \text{ Btu/hr-pies}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

En el libro de Gaffert - Centrales a Vapor - Pag 278,

se indica la siguiente correlación que el libro precisa debe permitir calcular el valor de U para el caso de calentadores de aire :

$$U = 2.25 + 0.00045G \quad \dots (3)$$

Para esa correlación:

U: en Kcal/m<sup>2</sup>-hr-°C

G: en Kg/mt-hr

Reemplazamos el valor de U calculado de 6.74 Btu/hr-pies<sup>2</sup>-F que es igual a 32.92 Kcal/m<sup>2</sup>-hr-°C en la ecuación (3):

$$G = 68,152.62 \text{ Kg/hr-m}^2 \text{ que es igual a}$$

$$G = 13,959.63 \text{ lb/hr-pies}^2$$

Como el flujo de gases es 220,743 lb/hr, entonces el area libre para el flujo de gases debería ser de  $220,743 \div 13,959.63 = 15.81$  pies<sup>2</sup>, valor este que está muy próximo al suministrado por "Distral" por lo que damos por aceptado el equipo propuesto.

Finalmente a continuación mediante los Cuadros Nros. 3 y 4 resumimos los principales resultados calculados en los subcapítulos precedentes.



CUADRO Nro 3

RESUMEN DE RESULTADOS DEL CALCULO TERMICO Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR

ITEM	EQUIPO	TEMP. [oF]		TEMP. MEDIA LO [oF]	U	FLUJO CALORICO Btu/hr	AREA TRANSF. pies <sup>2</sup>
		INGRESO Aqua, vapor o aire Gases	SALIDA Aqua, vapor o aire Gases				
01	Sobrecalentador de calor	531	2,180	997	7.98	49,020,000	5,883
02	Evaporador convectivo	365	1,475	465	11.84	47,640,000	8,653
03	Economizador	360	715	344	14.00	997,500	207
04	Precalentador de aire	85	698	252	6.74	19,310,414	11,400



CUADRO Nro 4

RESUMEN DE RESULTADOS FISICOS

ITEM	EQUIPO	DIAM. TUBOS [Pulg]	ALTURA TUBOS [Pulg]	PERPENDICULAR AL FLUJO		PARALELA AL FLUJO		ANCHO del banco Ap	
				Nro. tubos Nta	Dist./ Centros La	Nro. tubos Ntb	Dist./ Centros Lb		
01	Sobrecalentador de calor	2.1/8"	150"	28	5	30	3"	135"	
02	Evaporador	2"	28'-2"	39	4	14	4.3/4"	152"	
03	Economizador	2"	13'-4"	8	6	4	4"	42"	
04	Precalentador de aire	... TIPO REGENERATIVO LUNSTROM							

#### 4.9 Determinación de la eficiencia térmica global.-

A través del presente acápite verificaremos la eficiencia térmica global de la unidad proyectada, y comprobaremos si es que este importante ratio es igual ó mayor al inicialmente asumido en 85 %. (Acápite 4.3)

La eficiencia térmica de una caldera se establece generalmente a partir de las pérdidas de calor

Las principales pérdidas térmicas se deben al calor sensible que escapa junto con los gases; a las del calor perdido por la formación de vapor de agua como resultado de la combustión del hidrógeno en el combustible y por el calentamiento de la humedad contenida en el aire.

Las pérdidas de radiación que en su conjunto se podrían calcular en detalle, en forma práctica se recurrirá a la Figura Nro. 14, extraída del Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.

La suma de todas las pérdidas que se calculen expresadas como un porcentaje del calor total de entrada (= Poder calorífico del combustible) representarán la pérdidas totales.

Por otro lado, los fabricantes de estos equipos manejan un concepto que se denomina "Margen del

Fabricante" que representan la garantía del fabricante respecto de pérdidas difícilmente cuantificables. Generalmente se toma como un 1.0% del calor total de entrada.

1.- Calor perdido en los gases calientes que salen del generador.-

$$q_1 = W_n \times C_g \times (t_s - t_{a1})$$

Donde:

$W_n$  = libras de gases por libra de combustible

Determinado en el acápite 4.3, = 16.355

$C_g$  = Calor específico promedio salida de gase

Se toma en 0.24 Btu/hr-lb

$t_s$  = Temperatura de salida del precalentador de aire

Calculado en 362 °F

$t_{a1}$  = Temperatura del aire de ingreso al generador.

Calculado en 85 °F

Reemplazando en la fórmula:

$$q_1 = 16.355 \times 0.24 \times (362 - 85)$$

$$q_1 = 1,087 \text{ Btu/lb combustible}$$

$$q_1 = 1,087 \div 18,450$$

$$q_1 = 5.89 \%$$

2.- Pérdidas por formación de vapor de agua como resultado de la combustión del hidrógeno en el combustible .-

$$q_2 = 9H [1 \times (212 - T_c) + 970.3 + 0.46(t_s - 212)] \text{ Btu/lb comb}$$

Donde:

$9H$  = Cantidad de agua formada en fracción ponderal considerando que 1 lb de hidrógeno es capaz de formar 9 lb de agua ;  $H$  = % hidrogeno en peso por lb de combustible, que para nuestro caso es de 9.7% (Capítulo 4.2).

$1 \times (212 - T_c)$  = elevación de temperatura del agua de formación hasta 212 °F

970.3 = Calor latente de vaporización del agua en formación

$0.46(t_s - 212)$  = elevación de temperatura del agua de formación desde 212 °F, hasta la de salida de los gases.

$T_c$  = Temperatura del combustible de entrada al hogar  
 Se nos informó en Hierro Peru que como mínimo la temperatura del combustible que se suministrará será igual a 95 °F.

Reemplazando los valores señalados en la fórmula:

$$q_a = 9 \times 0.097 \times [(1 \times (212 - 95) + 970.3 + 0.46 \times (362 - 212))]$$

$$q_a = 1,009 \text{ Btu} / \text{lb de combustible}$$

$$q_a = 1,009 \div 18,450$$

$$q_a = 5.47 \%$$

3.- Calor perdido por calentamiento de la humedad contenida en el aire ambiental.-

$$q_b = M \times C_{va} \times (t_s - t_{a1})$$

Donde:

$C_{va}$  = Calor específico del vapor de agua, y se toma generalmente en 0.43 Btu/hr-°F.

M = Vapor del agua ambiental por libra de combustible.

$$M = W \times r_{a/c}$$

W = libras de vapor de agua / libra de aire

Para una temperatura de 85 °E y una humedad relativa de 80%, (Tomada como promedio en Marcona). Con la Figura N° 13 :

$$W = 0.021 \text{ lbs vapor de agua/lbs de aire}$$

$r_{a/c}$  = Relación aire combustible

$$15.356 \text{ lbs de aire / lb comb. (Cap. 4.2)}$$

$$M = 0.021 \times 15.356 = 0.32247$$

Reemplazando en la fórmula :

$$q_3 = 0.32247 \times 0.43 \times (362 - 85)$$

$$q_3 = 38 \text{ Btu /lb comb.}$$

$$q_3 = 38 \div 18,450$$

$$q_3 = 0.21 \%$$

#### 4.- Pérdidas de calor por radiación.-

Para una producción total calórica de 211'660,000 Btu/hr, (producción continua) y utilizando la Figura Nro. 14

$$q_4 = 0.58 \%$$

#### 5.- Pérdidas ó margen de Garantía

$$q_5 = 1.0 \%$$

## Resumiendo:

$q_1$ :	Calor perdido en los gases .....	5.89 %
$q_2$ :	Por vaporización hidrógeno combustible ..	5.47 %
$q_3$ :	Por calentamiento humedad de aire .....	0.21 %
$q_{4a}$ :	Pérdidas por radiación.....	0.58 %
$q_5$ :	Márgen de garantía.....	1.00 %
		=====
	Total pérdidas =	13.15 %

Finalmente y en conclusión: La eficiencia con la que operará el generador de vapor será:

$$100 \% - 13.15 \% = 86.85 \%$$

Valor que es superior a 85%, por lo que damos por aceptados nuestros cálculos y resultados obtenidos.



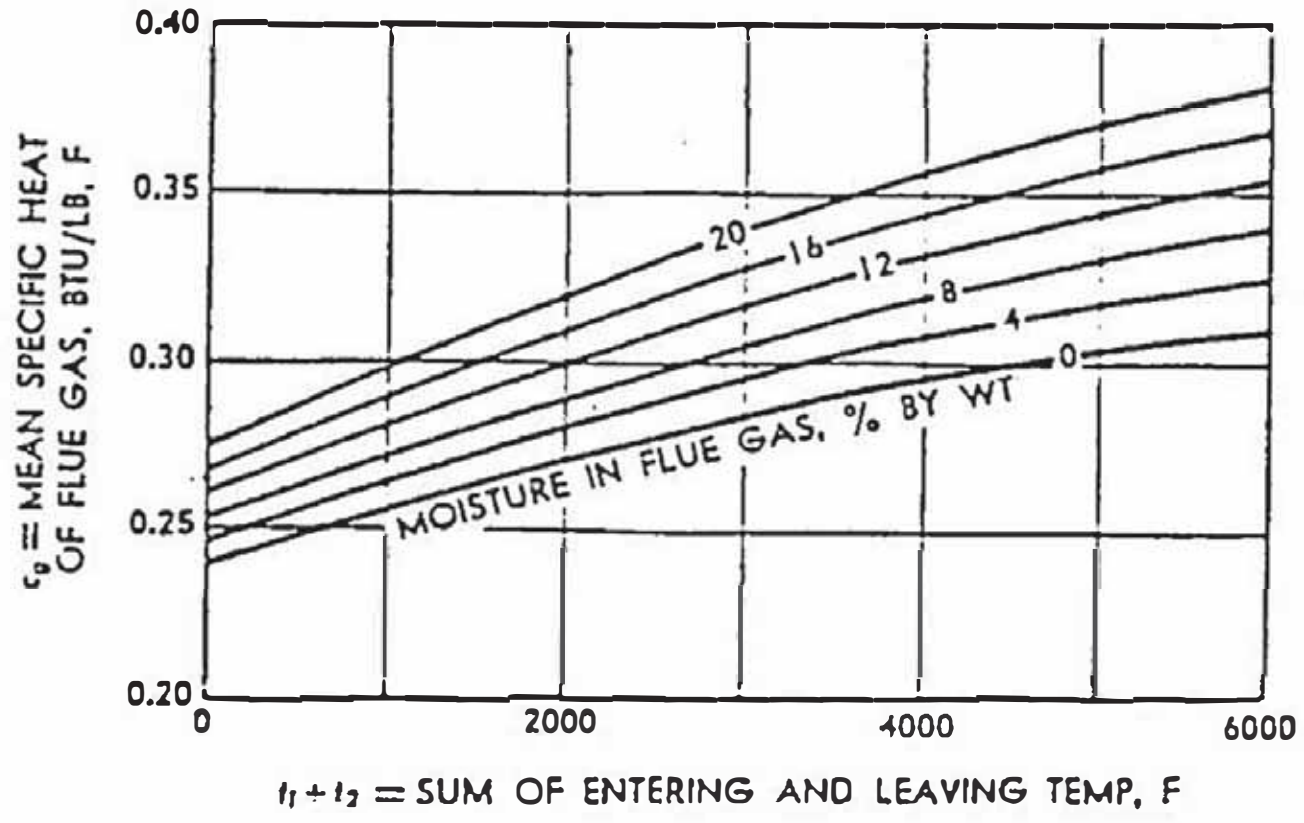


Figura Nro. 1  
Calor específico de gases calientes

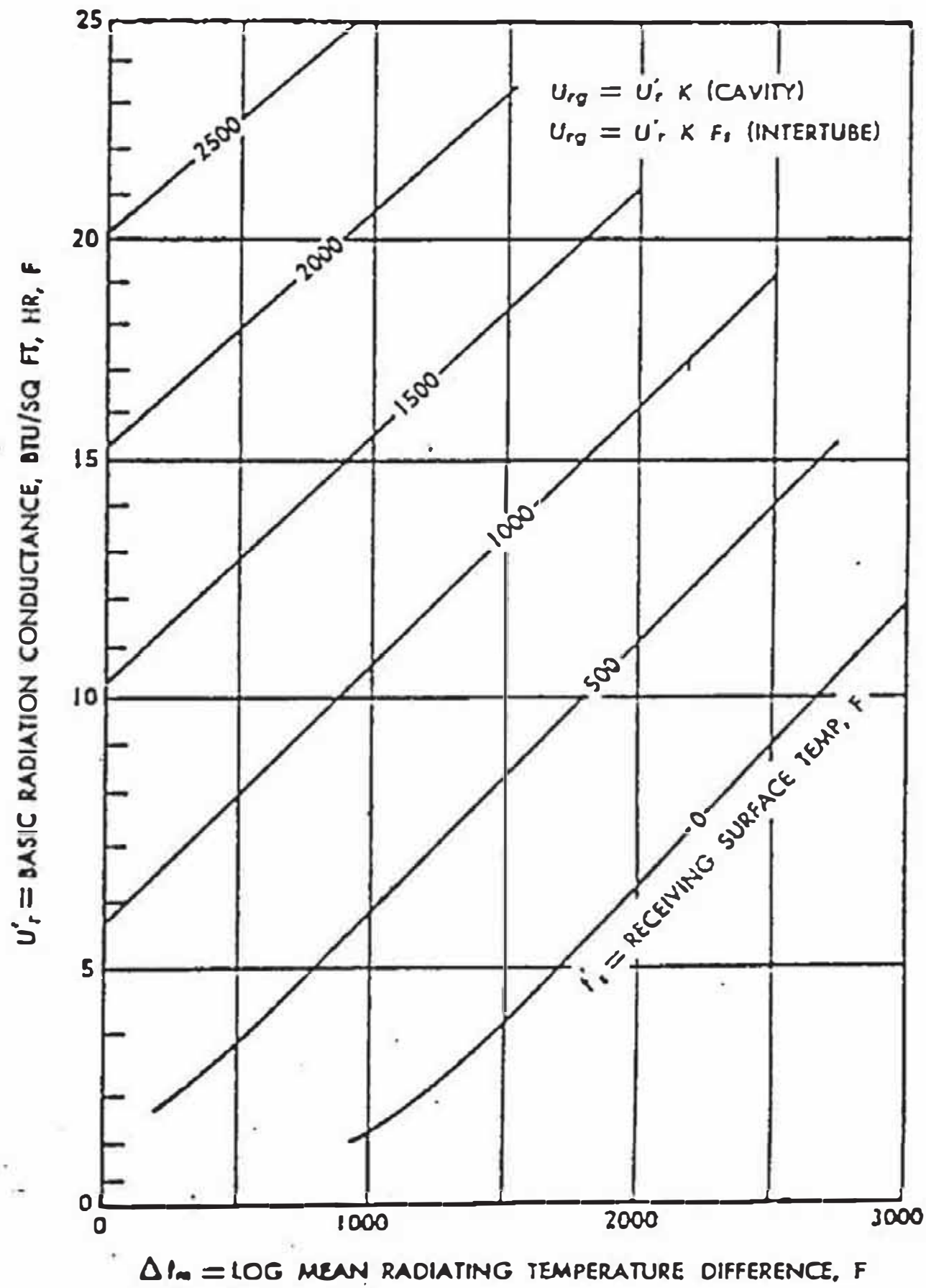


Figura Nro. 2  
Conductancia básica de radiación

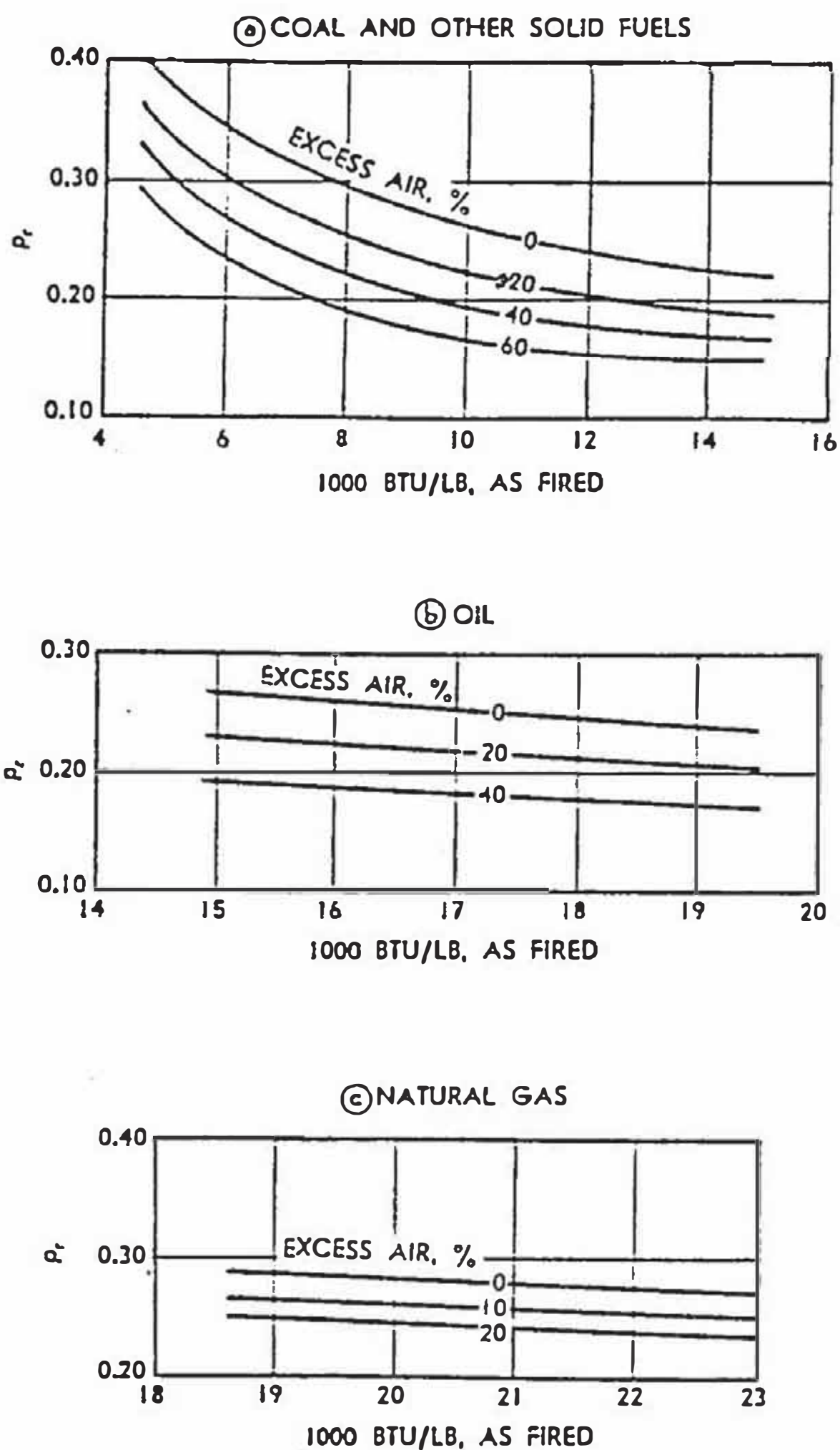


Figura Nro. 3  
Presión parcial gases radiantes en productos de la combustión

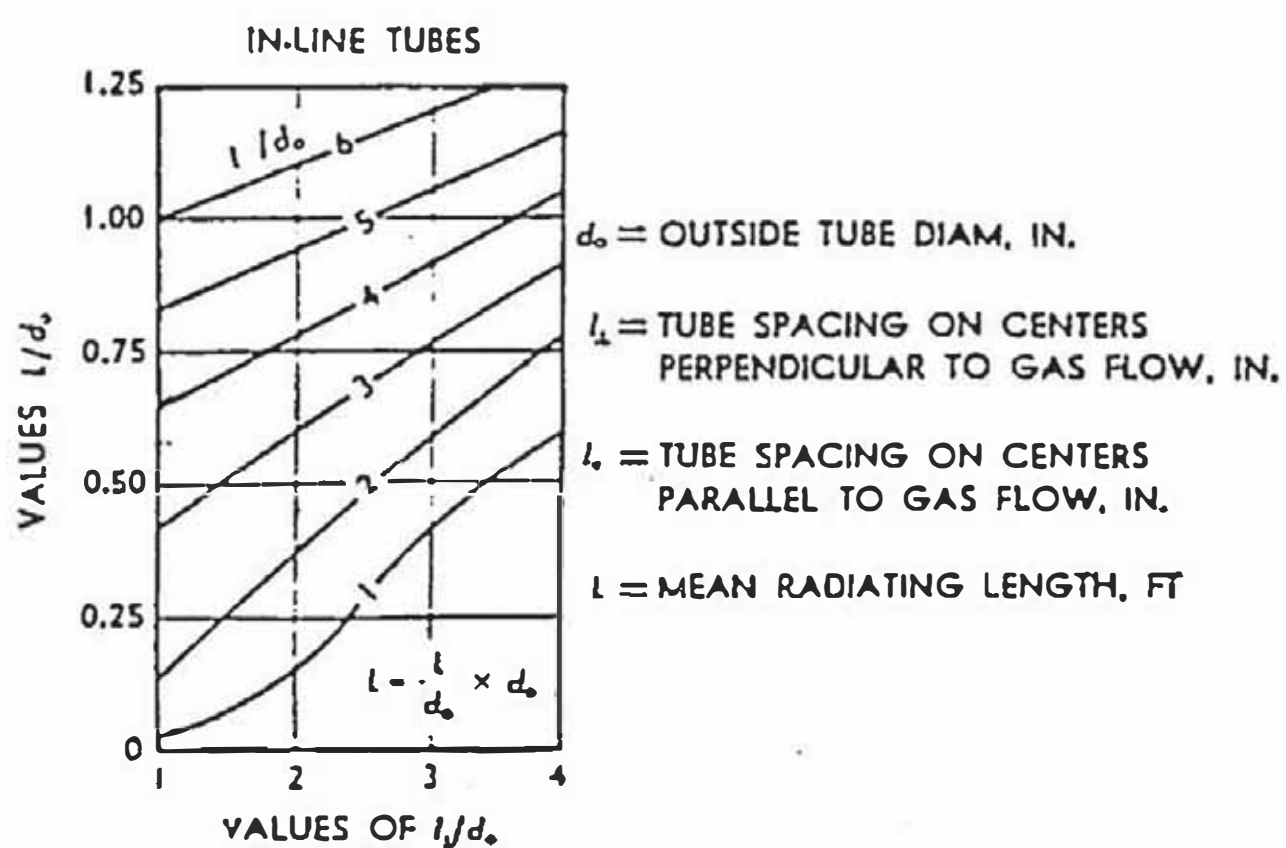


Figura Nro. 4  
Longitud media de radiación

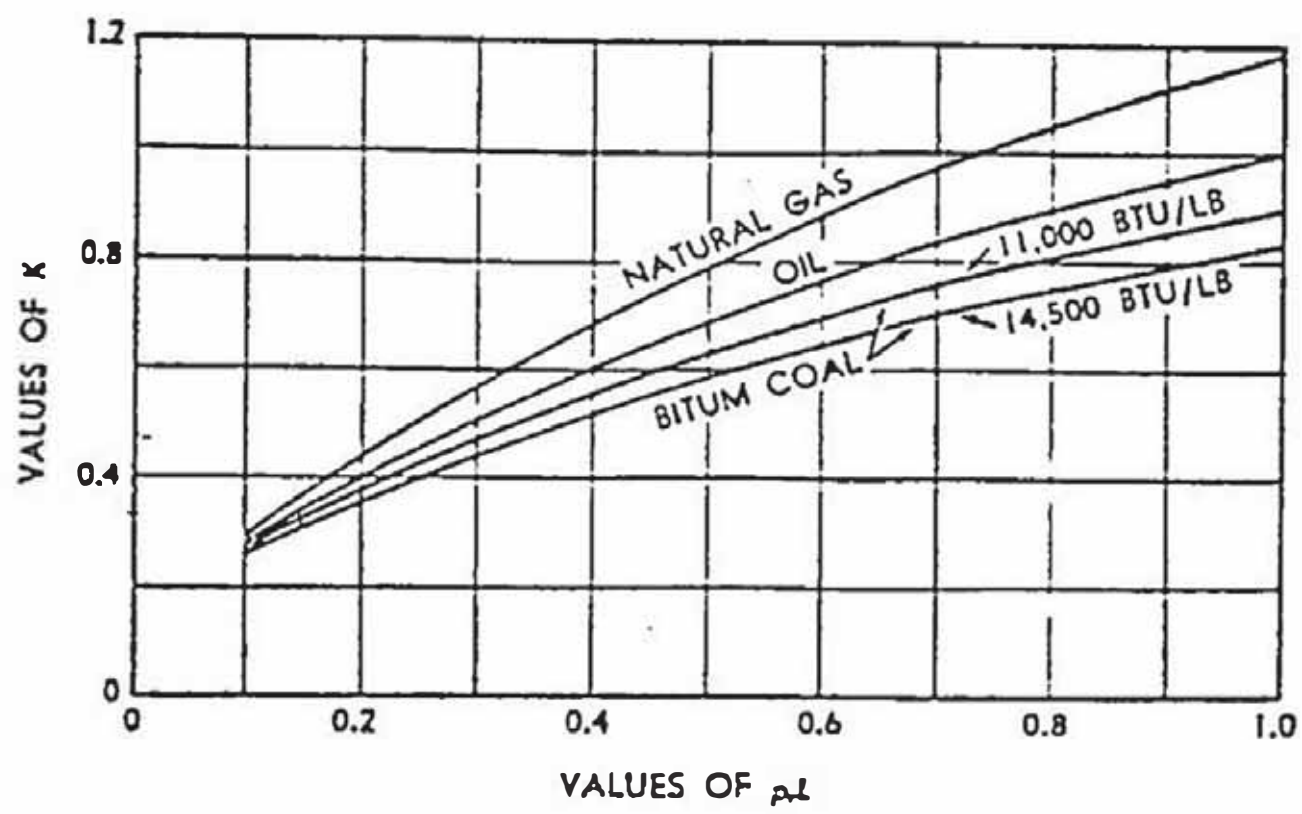


Figura Nro. 5  
Factor de arreglo o disposición del combustible y tubos

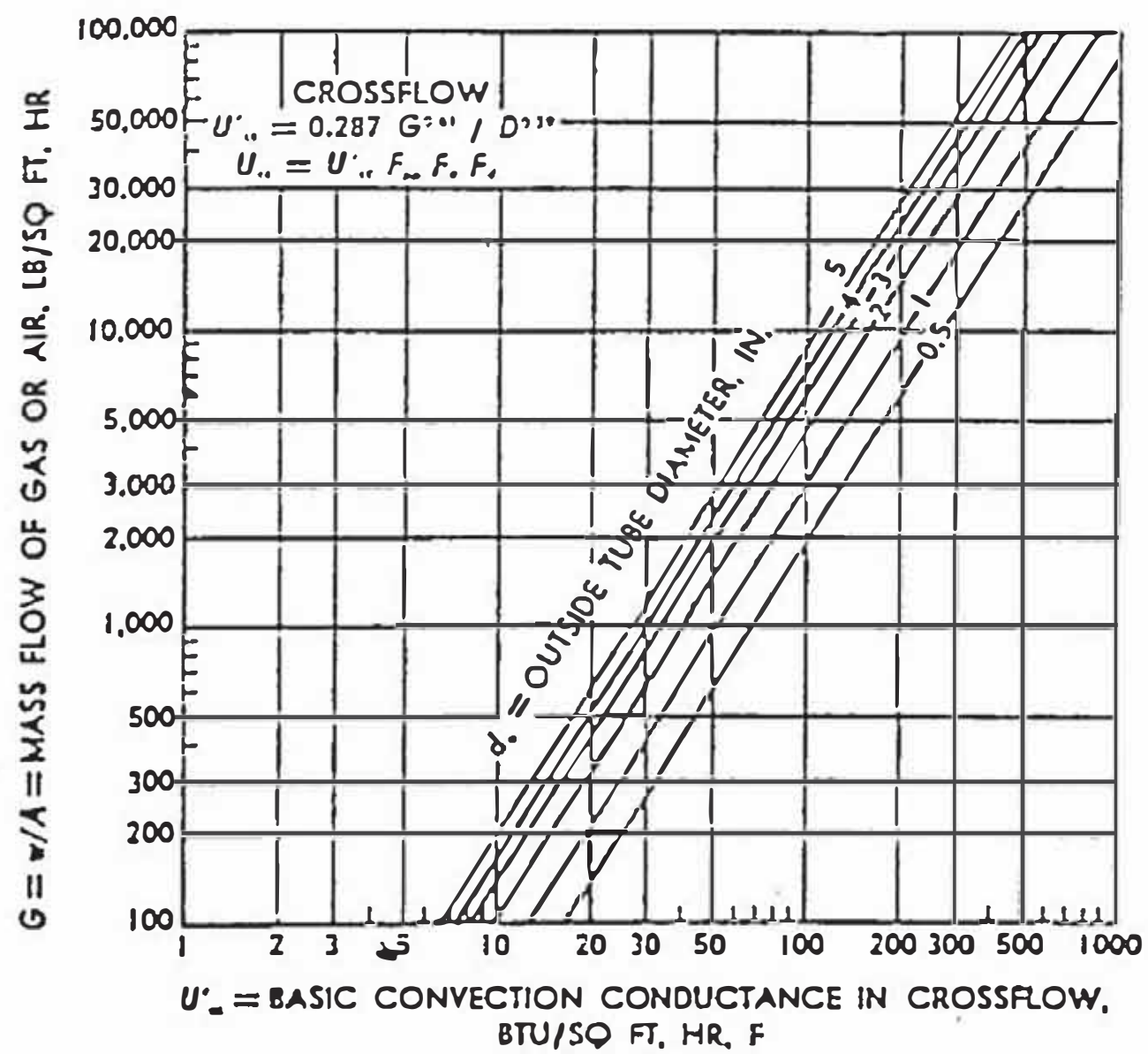


Figura Nro. 6  
Conductancia básica de conducción



## CAPITULO 5

### DISEÑO MECANICO

Por intermedio del presente capítulo se procederá con el desarrollo de los cálculos correspondientes al diseño mecánico de los principales elementos ó aparatos térmicos que constituirán el Generador de Vapor materia de la presente Tesis.

A través de los siguientes subcapítulos se determinarán los espesores de los tubos del sobrecalentador, del evaporador, economizador etc., así como las características ó especificaciones de los materiales a utilizar, concordante con las normas y códigos internacionales aplicables.

Se desarrollará también un tópico destinado al cálculo del aislamiento térmico de la unidad así como el de los cinturones y cubiertas requeridos para el cierre de la caldera.

También en uno de los subcapítulos entraremos al detalle del calculo de las perdidas del tiro de los gases a su paso por el generador de vapor para finalmente precisar las características que deberá cumplir el

ventilador de tiro forzado requerido.

Se efectuarán también los cálculos de diseño estructural de las plataformas y accesos a los diferentes niveles de la unidad.

Finalmente con todos los datos y cálculos obtenidos tanto en el presente como en el anterior capítulo he desarrollado algunos planos importantes que implicará el proyecto del nuevo Generador de Vapor los cuales se presentarán al final de la Tesis.

#### 5.1 Partes sometidas a presión.-

Bajo este subtítulo se encuentran comprendidos todos aquellos elementos que soportarán esfuerzos mecánicos producidos por la presión interna ejercida ya sea por el vapor sobrecalentado, el vapor saturado ó el agua en su estado de líquido comprimido a determinadas temperaturas de operación de la caldera. Debido a esta doble exigencia de trabajo es que en forma amplia la A.S.M.E. a través de su Power Boiler Code ha desarrollado un Código que estipula las fórmulas, recomendaciones y materiales requeridos para cada uno de los elementos que constituyen un Generador de Vapor . El Código Asme será entonces la herramienta fundamental que utilizaremos en los cálculos del presente acápite.



Los domos del evaporador de la caldera, los tubos del economizador, del evaporador, sobrecalentador, y los de las paredes del hogar (que no son sino tubos unidos mediante platinas a manera de aletas longitudinales) constituyen los elementos que soportarán interiormente la presión de operación de la caldera que como fué definido en el acápite 3.1 alcanzará los 865 psig. A su vez estos operarán en zonas donde las temperaturas de los gases van desde los 700°F hasta los 2,000°F en el economizador y sobrecalentador respectivamente.

La presión de operación de nuestro generador de vapor, materia del presente estudio es de 865 psig. Sin embargo a efectos de desarrollar los cálculos de diseño de mecánico, se trabajará con una presión máxima de diseño equivalente a 1.2 veces dicha presión, es decir se trabajará con 1040 psig. Este ratio es ampliamente recomendado y aceptado por empresas constructoras especializadas y también de inspección de seguridad, como "The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company".

#### 5.1.1 . Sobrecalentador de Calor.-

En primer lugar determinaremos las condiciones a las cuales estará sometido nuestro sobrecalentador, materia de estudio.

Como fué calculado y resumido en el Cuadro N°3 , las

siguientes serán las condiciones termodinámicas en las cuales operará el sobrecalentador:

	<u>Ingreso</u>	<u>Salida</u>
Vapor sobrecalentado	531 °F	905 °F
Gases calientes	2180 °F	1475 °F

El diámetro de los tubos del sobrecalentador, fué establecido en 2 1/8".

En el acápite 4.5 se calculó la Conductancia Global de transferencia de calor para este aparato térmico, también una de las conductancias parciales calculada fué la Conductancia media por el lado de la película de vapor que es 382 Btu/hr-pies<sup>2</sup>-°F.

Este último dato nos servirá para determinar el gradiente de temperaturas aproximado entre el vapor y la pared metálica del sobrecalentador, que debe ser realmente muy reducida en vista que el vapor sobrecalentado es un fluido con alta conductancia térmica:

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Flujo calórico} & & \text{Conduct. lado} & & \text{Gradiente} & & \text{Area} \\
 \text{en el sobrec.} & = & \text{película vapor} & \times & \text{Temperat.} & \times & \text{Transf.} \\
 \\ 
 \text{Btu/hr} & & \text{Btu/hr-pies}^2 & & \text{°F} & & \text{pies}^2
 \end{array}$$

$$49'020,000 - 2'208,000 = 382 \quad \times \quad \delta T \quad \times \quad 5,883$$

Todos estos valores fueron calculados en capítulo 4.5 del presente estudio.

$$\text{Despejando : } \delta T = 25 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Entonces finalmente las temperaturas de las paredes metálicas de los tubos del sobrecalentador en el lado de ingreso y salida del vapor sobrecalentado serán:

Lado Ingreso :	531 + 25 =	556 °F
Lado Salida :	905 + 25 =	930 °F
Promedio :	556 + 930 =	743 °F

Es recomendación hecha por los fabricantes reconocidos de Generadores a Vapor (por ej.: Babcock & Wilcox-Tabla 3 del capítulo 22-35 del "Steam its use and generation" ), que los tubos que operen en zonas de bajas temperaturas , utilicen aceros de baja aleación, como por ejemplo el SA-209 T1, material que inclusive está recomendado en el artículo PG-9.1 del Asme. Este acero es un acero al carbono pero que contiene Molibdeno en un ½ % (C-½Mo). Este elemento mejora las propiedades mecánicas del acero al carbono cuando trabaja en caliente y sobre todo contribuye decisivamente a la "Dureza en Rojo", propiedad que consiste en que el metal trabaja con un alto grado de calentamiento sin materialmente disminuir su dureza.

En las zonas donde existen las mayores temperaturas, se recomiendan las aleaciones intermedias ó las altas aleaciones , dependiendo de las temperaturas de sobrecalentamiento. Al operar nuestro sobre-calentador en temperaturas de hasta 930  $^{\circ}$ F (a una presión de 865 psig) se recomienda una aleación intermedia como por ejemplo el SA-213 T11 (téngase en cuenta que en la actualidad existen en el mundo calderas que operan a presiones de hasta 4000 psig y temperaturas de sobrecalentamiento de hasta 1150  $^{\circ}$ F, para las cuales se exigen materiales de alta aleación y por ende de un altísimo costo). La composición de este acero es  $1\frac{1}{4}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si. El Cromo opera en la aleación como instrumento que incrementa la resistencia del acero a la oxidación a elevadas temperaturas y también en menor grado a mejorar la resistencia al "Creep" del acero a altas temperaturas.

Como nuestro sobrecalentador está constituido por 30 filas de tubos en la dirección paralela al flujo, los primeros 16 , que estarán ubicados hacia la zona de altas temperaturas, serán diseñados de acuerdo al material precisado como el SA-213 T11 ; mientras que los últimos 14 lo serán con el material SA-209 T1.

Las fórmulas que utilizaremos para el diseño de nuestro sobrecalentador , serán las precisadas en el artículo PG.27.2 del Código ASME:

27.2.1 Tubos de calderos (Tubing) .- Para tubos de hasta, e inclusive 5 pulg. de diámetro exterior:

$$t = \frac{PD}{2S+P} + 0.005D + e$$

$$P = S \left( \frac{2t - 0.01D - 2e}{D - (t - 0.005D - e)} \right)$$

Donde:

t = mínimo espesor requerido, pulg. Una vez determinado el valor aritmético mediante la respectiva fórmula, se debe redondear el espesor de la pared del tubo a adquirir, hacia el siguiente espesor comercial superior, utilizando el código ANSI B36.10. Un compendio de dicha tabla se precisa en la Tabla 13 del capítulo 8-167 del Manual de Marks a la cual recurriremos.

P = Presión de trabajo máxima permitida, como lo precisamos líneas arriba esta es de 1,040 psig.

D = Diámetro exterior del tubo., que para el caso del sobrecalentador es de 2 1/8 pulg.

S = Valor del esfuerzo máximo permitido del acero a la temperatura de operación del metal, de acuerdo a las Tablas PG-23.1 del Código ASME.



Es importante precisar que los esfuerzos que en estas Tablas se listan, estan dadas en función de las temperaturas a las cuales trabajará el acero, estos esfuerzos han sido elaborados teniendo en cuenta fundamentalmente el efecto "Creep" y consideran aproximadamente un factor de seguridad entre 4 y 5.

e = Factor de espesura por el expandado de los terminales de los tubos en los cabezales colectores.

En los tubos de la primera fila del banco de tubos como fué señalado utilizaremos entonces, tubos de material SA-213-T11, los cuales se diseñarán con un esfuerzo máximo permitido a 930 °F.

En la tabla PG-23.1 para dicho material a 950 °F el esfuerzo máximo permitido es de 11,000 psi.

Como los tubos del sobrecalentador son soldados a los cabezales recolectores, "e" será igual a cero.

Reemplazando todos estos valores en la fórmula de la ASME:

$$t = [(1040 \times 2.125) \div (2 \times 11000 + 1040)] + [0.005 \times 2.125]$$

$$t = 0.1065 \text{ pulg.}$$

Entonces el espesor comercial de los tubos de este primer grupo de tubo del sobrecalentador será de BWG 11 que representa 0.12 pulg.

altas y bajas temperatura, denominados comunmente por los fabricantes como Banco Primario y Banco Secundario, es recomendable el independizar ambos grupos, instalando cabezales de entrada y salida por cada grupo de tubos.

Las fórmula que utilizaremos para el caso de cabezales ó colectores serán las precisadas en el artículo PG-27.2.2 de la ASME:

27.2.2. Cabezales, tambores, domos ó colectores.-

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C$$

$$P = \frac{2SE(t - C)}{D - 2y(t - C)}$$

Donde además de las variables ya descritas en el apartado anterior:

E = Eficiencia de las juntas soldadas longitudinales ó de los ligamentos entre aperturas, cualesquiera que tenga el menor valor:

= 1.00 para cilindros sin costura y para juntas soldadas donde el refuerzo de soldadura es removido.

= 0.9 para juntas soldadas donde el refuerzo de soldadura es dejado en el lugar.

y = coeficiente de temperatura, el cual se seleccionará del siguiente cuadro extraído del cuadro de la Nota 6 del artículo PG-27.4 de la ASME :

-----						
Temperaturas [°F]						
-----						
	900 hacia					1150 y
	abajo	950	1000	1050	1100	superior
Aceros Ferríticos	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Aceros Austeníticos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

C Tolerancia mínima por roscado exterior y también por estabilidad estructural, pulg.

Cualquier añadido en la espesor de la pared representada por el término general "C" puede ser considerada aplicarse sobre el exterior, el interior ó ambos, en caso sea requerido efectuar algún proceso de roscado en el extremo del elemento existe una tabla que precisa unos valores en la Nota 3 de la norma PG-27.4.

Finalmente si se observara la existencia de ciertas condiciones de corrosión apreciables, un adicional incremento en el espesor deberá ser contemplado.

Los colectores de entrada y salida tanto del Banco de Tubos Primario como del Banco Secundario, de acuerdo al modelo de generador escogido para nuestra caldera y de acuerdo también a la recomendación de los fabricantes, deben ser instalados en una cavidad que no este en contacto con el flujo de gases calientes. Tal como lo luego se apreciará en los planos de disposición

respectivos , dichos colectores se ubicarán en una cavidad habilitada entre la pared ó techo de la caldera y la cubierta aislante exterior , evitando de este modo contacto directo alguno con los gases calientes. Sin embargo dado que estos colectores soportarán las altas temperaturas del vapor sobrecalentado es necesario diseñarlos con un material que cumpla exigencias mínimas de resistencia mecánica a las temperaturas requeridas.

Para el caso de los colectores que trabajarán en la zona de bajas temperaturas (1) y los que lo harán entre el Banco Primario y Secundario (3) que alcanzarán temperaturas en la pared del metal de 556°F y 743°F respectivamente el material que más se ajusta a estas exigencias planteadas , es el SA-106 B, material que también está recomendado por la norma ASME PG-9.1. Este material es un acero al carbono (con pequeñas cantidades de manganeso) y a partir de él se fabrica tubos de acero sin costura. Es importante también precisar el hecho que los aceros al carbono cuando se exponen en forma prolongada a temperaturas sobre los 800°F corren el peligro de convertir a la fase carburo (ó la Cementita) disuelta en el acero en grafito que tiene muy pobres propiedades mecánicas. Al estar nosotros , operativamente por debajo de los 800°F para el caso de los colectores señalados, el material seleccionado es el adecuado.

Para el caso del colector de salida del Banco

Secundario que asumirá las condiciones de temperaturas de pared metálica más exigentes , 930 °F , seleccionaremos un material con mejores propiedades que el anterior, el SA-335 P11, este es un material de aleación intermedia cuya composición de elementos de aleación es  $1\frac{1}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}-\text{Si}$  y a partir del cual se fabrican tubos sin costura . Este material es recomendado igualmente por la norma ASME PG-9.1.

Los colectores de las zonas de bajas temperaturas (en total 4) serán diseñados , conservadoramente bajo la premisa de temperaturas de pared más altas posibles de 743 °F , mientras que el único colector de alta temperatura se diseñará con su temperatura máxima de pared de 943 °F.

Los esfuerzos máximos permitidos de los materiales seleccionados para dichas temperaturas los extraeremos de la tabla PG-23.1 del código ASME y son:

Material	Temp. Máx de Tablas	Esfuerzo máx
SA-106 B	750°F	13,000 psi
SA-335 P11	950°F	11,000 psi

El coeficiente E para todos los colectores diseñarse tienen un valor de "0" en vista que serán tubos de acero sin costura.

Las constantes "y" para el SA-106 B y el SA-335 P11 (ambos aceros ferríticos) serán respectivamente 0.4 y 0.5,



de acuerdo a la tabla precisada cuando se indicaba el significado de la variable "y".

Dado que las condiciones no lo ameritan no agregaremos ningun incremento adicional en el espesor de la pared de los colectores ("C=0" ).

En cuanto a los diámetros de los colectores, tuvimos que recurrir a la experiencia de los fabricantes que para el caso de sobrecalentadores señalan un diámetro de colectores de unas 5 veces el diámetro de los tubos absorvedores de calor. Al tener los tubos absorvedores de calor un diámetro de 2 1/8", cinco veces dicho valor representa aproximadamente 10 3/4" de diámetro de colector, valor que utilizaremos en nuestros cálculos.

Reemplazando todos estos valores en las fórmulas planteadas bajo la norma PG-27.2.2:

A.- Colectores con el acero SA-106 B (4 und) :

$$t = 1040 \times 10.75 \div (2 \times 13,000 + 2 \times 0.4 \times 1040)$$

$$t = 0.4166 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.5 \text{ pulg.} \quad \dots \text{ espesor comercial superior}$$

Este último espesor comercial corresponde a la especificación según ASA B36.10 SCH 60 ó espesor nominal XS para tubos de diámetro nominal 10" diam. ó 10 3/4" de diámetro exterior que corresponde a nuestro diámetro seleccionado.

B.- Colector co el acero SA-335 P11 (1 und.) :

$$t = 1040 \times 10.75 \div (2 \times 11,000 + 2 \times 0.5 \times 1040)$$

$t = 0.485$  pulg.

$t = 0.5$  pulg. ... espesor comercial superior

Al igual que en el caso anterior el espesor comercial seleccionado corresponde a un tubo SCH 60.

Podemos entonces resumir los resultado del diseño del sobrecalentador del modo siguiente:

#### Cuadro Nº 5

#### Resúmen Diseño Sobrecalentador

	PRIMARIO	SECUNDARIO
Nro. de filas de tubos	14	16
Tubos		
Diámetro	2-1/8"	2-1/8"
Espesor	BWG#11-0.12"	BWG#13-0.095"
Material	SA-209 T1	SA-211 T11
Cabezales de entrada		
Número	1 (uno)	1 (uno)
Diámetro	10-3/4"	10-3/4"
Espesor	SCH 60 - 0.5"	SCH 60 - 0.5"
Material	SA-106 B	SA-106 B
Cabezales de salida		
Número	1 (uno)	1 (uno)
Diámetro	10-3/4"	10-3/4"
Espesor	SCH 60 - 0.5"	SCH 60 - 0.5"
Material	SA-106 B	SA-335 P11

Conexión Intermedia  
entre bancos

Número	1 (uno)
Diámetro	10-3/4"
Espesor	SCH 60 0.5"
Material	SA-106 B

### 5.1.2 . Evaporador convectivo.-

Primeramente resumiremos los resultados de los cálculos logrados en el capítulo anterior para este aparato:

	<u>Ingreso</u>	<u>Salida</u>
Vapor saturado	531 °F	531 °F
Gases calientes	1,475 °F	715 °F

#### Banco de tubos principal

El diámetro de los tubos del banco de tubos del evaporador fué establecido en 2 pulg.

En el caso del evaporador como la resistencia al paso del flujo de calor de la pared metálica del tubo absorvedor de calor y de la película de vapor son muy reducidas (ebullición pelicular) , la temperatura del vapor saturado es prácticamente la temperatura de la pared metálica de los tubos es decir 531 °F.

Para los tubos del generador de vapor que no tienen, en términos relativos, una exigencia de trabajo tan extrema, como es el caso del sobrecalentador se recurre al acero al carbono, material que desarrolla eficientemente sus propiedades mecánicas si es que no se sobrepasa los 800 °F, (límite sobre el cual por una excesiva exposición a dicha temperatura, la fase Cementita disuelta en el acero corre el riesgo de convertirse en grafito).

Recurrirnos a la norma ASME PG 9.1 y también a lo recomendado por la Babcock & Wilcox y seleccionaremos el acero SA-178 A a partir del cual se fabrican tubos electrosoldados.

Aplicaremos entonces la fórmula planteada para el cálculo del espesor de los tubos del sobrecalentador:

El esfuerzo máximo permitido para el acero SA-178 A, a 531 °F ("S" en la fórmula), de acuerdo a las tablas PG.23.1 del Código ASME sería de 11,800 psi ; sin embargo de acuerdo a lo prescrito por la norma 27.2.2. Nota 2, en el caso de superficies absorvedoras de calor jamás se debe trabajar con esfuerzos máximos permitidos por debajo de los 700°F, por lo que en nuestro caso, al tener una temperatura de pared menor que aquella, para 700°F según las tablas PG.23.1 el esfuerzo máximo permitido será 11,500 psi.

El factor de incremento de espesor "e" por el expandado de los tubos en los domos, de acuerdo a la nota

4 de la norma 27.2.3 del Código ASME será 0.04 pero solo si es que el espesor resultantes es menor a 0.12 pulg.

Reemplazando estos datos conjuntamente con los datos ya conocidos en la fórmula:

$t = 0.0965$  pulg. valor que al ser menor a 0.12 pulg. debe incrementarse , de acuerdo a la norma en " $e = 0.04$  ", con lo que:

$$t = 0.1365 \text{ pulg}$$

Entonces el espesor comercial superior al calculado recurriendo a la tabla PWT-10 de la ASME será el BWG #9 equivalente a 0.150 pulg.

#### Domos superior é inferior

En el capítulo 3.5.b Parámetros para el diseño mecánico, se precisó que la caldera constaría de dos tambores ó tambien llamados domos, soldados a fusión los cuales deberían estar en corcondancia con la norma ASME 212-B, asimismo cada tambor estaría equipado con una manhole de 16 pulg. y los diámetros aproximados estarían entre los siguientes rangos:

Tambor de vapor	entre 48" y 60"
Tambor de agua	entre 30" y 36".

La norma ASME 212-B que solicita Hierro-Perú, se tenga en cuenta para el diseño de estos domos , corresponde al de una norma antiguamente utilizada, y es el de un acero al carbono a partir del cual se fabrican planchas, este acero de alta calidad es manufacturado sin



que se produzca desprendimiento de gases durante la colada ,comunmente conocido como "acero muerto", además contiene un contenido de carbono entre 0.28 y 0.35 y Silicio entre 0.15 y 0.30 por lo que además éste es un acero de alta resistencia mecánica. Actualmente esta norma le corresponde a la SA-515-70, que cumple a cabalidad las especificaciones solicitadas para el 212-B.

Como los tambores ó domos no son diseñados como superficies absorvedoras de calor, entonces, el máximo, esfuerzo permisible que utilizaremos en los cálculo será el que corresponda a la temperatura de saturación de 531°F. Entonces recurriendo a las Tablas ASME PG.23.1 el esfuerzo máximo será de 17500 psi.

En cuanto a los diámetros tanto del domo superior como del inferior para definirlos tuvimos que apelar nuevamente a fabricantes de experiencia, recurrimos a Industrial Lima, representante en Lima de la Compañía colombiana DISTRAL, fabricante de las calderas "Combustion Engineering", ellos nos precisaron que efectivamente esos eran los diámetros aproximados que para la capacidad de nuestra caldera eran la requeridas, pero me recomendaron que utilice para el Domo de Vapor un diámetro de 60 pulg. y para el Domo de Agua de 36 pulg.

### a.- Sección tubular.-

Al ser ambos domos conformados a través de prensado, (con prensas de aproximadamente 6,500 ton. de capacidad), y luego soldados a fusión por un proceso preferentemente de arco sumegido y con el refuerzo de soldadura opuesto retirado, limado y arenado completamente, el factor E (eficiencia de soldadura) será igual a 1.00.

Reemplazando los datos arriba señalados (teniendo en cuenta que estamos con un acero ferrítico), en la fórmula ASME PG-27.2.2 planteada cuando se calcularon los colectores del sobrecalentador de vapor:

$$t = PD \div (2SE + 2yP) + C$$

Domo superior ó de vapor:

$$t = (1040 \times 60) \div (2 \times 17500 + 2 \times 0.4 \times 1040) = 1.74''$$

Domo inferior ó de agua:

$$t = (1040 \times 36) \div (2 \times 17500 + 2 \times 0.4 \times 1040) = 1.045''$$

Ahora bien podemos aproximar a los valores comerciales los espesores arriba calculados para quedar finalmente establecidos del modo siguiente:

$$t_{(\text{domo vapor})} = 1-3/4 \text{ pulg.}$$

$$t_{(\text{domo agua})} = 1-1/8 \text{ pulg.}$$

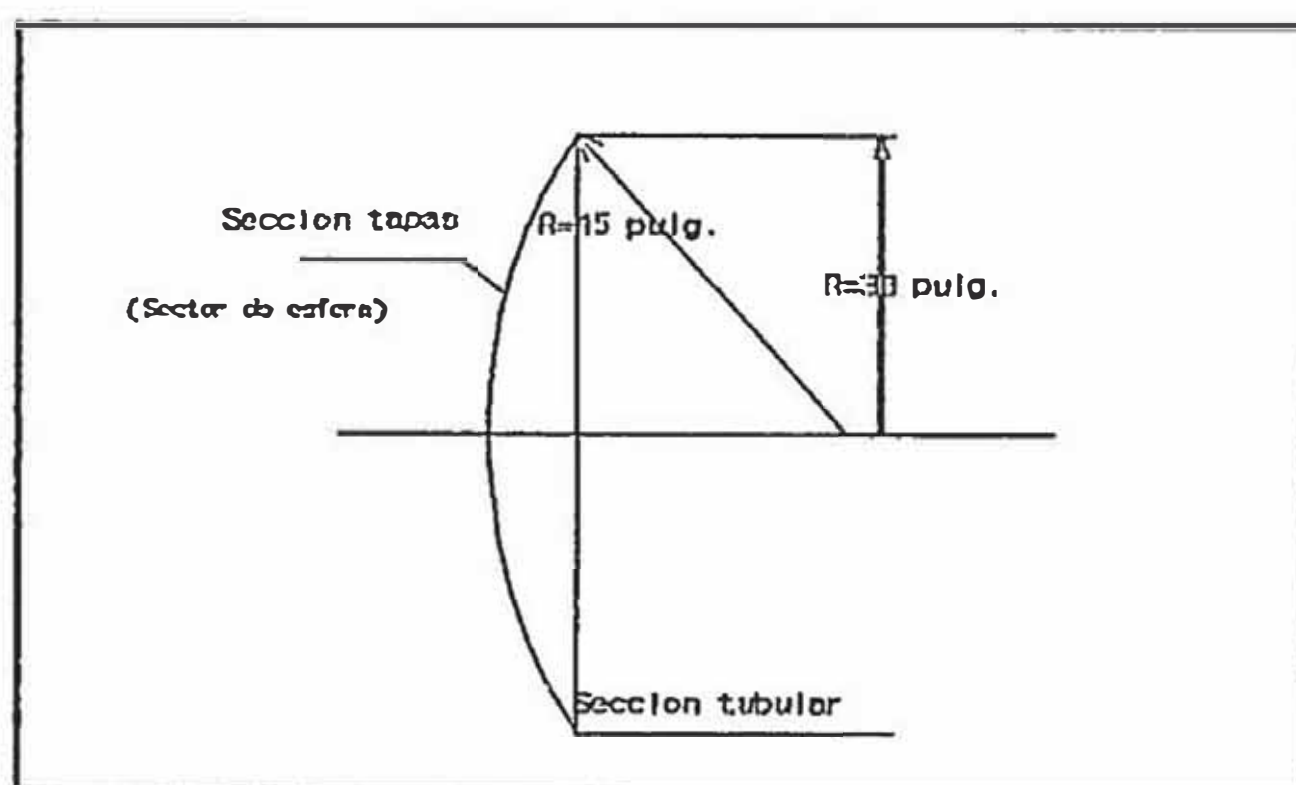
### b.- Sección tapas conformadas.-

Estas tapas puede ser diseñadas del tipo:

- Sección o sector de esfera
- Sección completamente semi-esférica
- Sección semi - elipsoidal

Para el presente escogeremos el primer tipo, es decir la de sector de esfera. El diámetro que tendrán las tapas, de acuerdo también a lo recomendado por DISTRAL puede ser de 1.5 veces del diámetro del sector tubular.

Al ser el diámetro de nuestro domo de vapor de 60 pulg. (Radio=30 Pulg.), entonces las tapas serán de un sector esférico que



tendrá un radio de  $30 \times 1.5 = 45$  pulg. es decir un diámetro de 90 pulg. tal como se esquematiza en la ilustración adjunta.

En forma similar para el caso del domo inferior ó de agua al tener este un diámetro de 36 pulg. (Radio =18 pulg.), el radio de conformado de la tapa será de  $1.5 \times 18 = 27$  pulg. que equivale a un diámetro de 54 pulg.

La fórmula que se aplicará para el cálculo del espesor de las tapas será la planteada en la norma PG 29.1 del código ASME:

PG -29      Tapas conformados

29.1 El espesor de una tapa de domo conformada con la

presión actuando en el lado cóncavo cuando este es un segmento de una esfera debe ser calculado por la siguiente fórmula:

$$t = 5PL / 4.8 \times SE$$

Donde:

t : Mínimo espesor de la tapa

P : Presión de trabajo máxima permitida.

L : Radio al cual se ha conformado la tapa

S : Esfuerzo de trabajo permitido

E : Eficiencia de la junta soldada más débil usada en el conformado de la tapa.

En nuestro caso las tapas serán conformados por un proceso de manufactura por prensado en caliente y no tendrán entonces soldaduras de conformado con lo que  $E=1$ .

Las demás variables ya fueron precisadas para el caso de la sección tubular, ya que será el mismo material SA-515-70 el que utilizaremos:

Domo superior ó de vapor

$$t = (5 \times 1040 \times 45) \div (4.8 \times 17500) = 2.7857 \text{ pulg.}$$

Domo inferior ó de agua

$$t = (5 \times 1040 \times 27) \div (4.8 \times 17500) = 1.6714 \text{ pulg.}$$

Ahora bien como precisamos al iniciar los cálculos del presente tópico mencionamos que Hierro-Perú solicitaba el que se disponga de un man-hole por cada domo y este

debería ser de 16 pulg. La norma PG-29.2 de la ASME precisa que si se vá a instalar un man-hole en el domo que supere las 6 pulg. el espesor debe ser incrementado en un mínimo de 15% del calculado y en ningún caso debe este debe ser menor que un 1/8 pulg.

Consecuentemente los espesores arriba calculados serán recalculados teniendo en cuenta esta última exigencia:

$$t_{(\text{domo vapor})} = 2.7857 \times 1.15 = 3.2035 \text{ pulg.}$$

$$t_{(\text{domo agua})} = 1.6714 \times 1.15 = 1.9221 \text{ pulg.}$$

Al igual que en el caso de la sección tubular aproximaremos hacia el espesor comercial superior los resultados obtenidos:

$$t_{(\text{vapor})} = 3-1/4 \text{ pulg.}$$

$$t_{(\text{agua})} = .2 \text{ pulg.}$$

Resumimos entonces los resultados del cálculo para el caso del evaporador convectivo:

#### Cuadro Nº 6

#### Resúmen Diseño Evaporador Convectivo

##### Banco de tubos Principal

Nro. filas de tubos en la dirección perp. al flujo .....	39
Nro. filas de tubos en la dirección paralela al flujo.....	14



Diámetro de Tubos.....	2 pulg.
Espesor de tubos.....	BWG #9 - 0.15 pulg.
Material .....	SA - 178 Gr. A

#### Domo Superior

Diámetro exterior	60 pulg.
Espesor sección cilíndrica	1-3/4 pulg.
Espesor de las cubiertas	3-1/4 pulg.
Longitud del domo	17'-4"
Material	SA-515-70

#### Domo inferior

Diámetro exterior	36 pulg.
Espesor sección cilíndrica	1-1/8 pulg.
Espesor de las cubiertas	2 pulg.
Longitud del domo	17'-4"
Material	SA-515-70

Finalmente tanto en domo superior ó de vapor como en el domo inferior ó de agua é inclusive en el cabezal de salida del sobrecalentador es menester dejar previstas las siguientes bocas ó salidas de acuerdo a la siguiente relación:

## BOCAS

<u>Descripción</u>	<u>Localización</u>	<u>Nro. y tamaño</u>	<u>Tipo</u>
Válvula de seguridad	D.V.	Uno (1)	EST
Alimentación de agua	D.V	Una (1) 4"	EST
Columna de agua	D.V	Ctro (4) 1-1/2"	ESTL
Regulador aliment.agua	D.V	Ctro (4) 1"	ESTL
Purga continua	D.V	Una (1) 1-1/2"	ESTL
Purga de aire	D.V	Una (1) 1"	ESTL
Manómetro	D.V	Una (1) 1"	ESTL
Purga intermitente	D.L.	Una (1) 2"	EST
Alimentación químicos	D.L	Una (1) 1-1/2"	ESTL
Salida de vapor	S.C	Una (1) 10"	EST
Válvula de seguridad	S.C	Una (1) 2"	EST
Manómetro	S.C	Una (1) 1"	ESTL

Abreviaturas

D.L. Domo de lodos      EST : Extremos soldados a tope  
D.V. Domo de vapor      ESTL: Extremos para soldar traslapado  
S.C Sobrecalentador

## 5.1.3.- Paredes del hogar.-

Las paredes del hogar son aquellos elementos tubulares que rodean al hogar de la caldera.

En el capítulo 4.4 habíamos precisado que por intermedio del mecanismo de radiación se transmitía calor a las paredes que rodeaban ó "veían" al hogar . Por estas paredes abovedoras de calor circulará una mezcla en equilibrio de agua y vapor en su estado de saturación que

al absorber en un grado casi absoluto el calor radiante liberado por la combustión de la mezcla petróleo-aire convierte al hogar en un cuerpo gris encerrado por una cubierta negra, cumpliendo a la vez una función "refrigerante" . Esta mezcla de agua vapor por intermedio de dichos "tubos elevadores" a través del mecanismo de circulación natural luego es conducido al domo superior ó vapor para de allí continuar con su ciclo normal termodinámico.

Físicamente dichas paredes no son sino elementos tubulares dispuestos perpendicularmente y unidos entre sí por intermedio de placas ó platinas que cumplen la doble función de darle estabilidad estructural a las paredes y la de ser elementos receptores de calor. En el plano TE-01 que al final del capítulo presentaremos se vé en un corte la disposición de estas paredes.

Ahora bien en el capítulo 4.4 también precisamos que 1,900 pies<sup>2</sup> era el area estimada prevista para toda la superficie envolvente del hogar. Esta superficie ha sido dispuesta físicamente en nuestra caldera procurando en todo momento tener en cuenta las restricciones físicas existentes actuales tal como se indicó en el capítulo 2.3. En el plano TE-01 que presentamos al final del capítulo se comprueba lo adecuado de esta área la cual finalmente se logró disponer en nuestra caldera.

En cuanto a los tubos de las paredes del hogar estas serán construídas utilizando el material SA-178 Gr.A y un diámetro de 3 pulg con un espaciamiento entre centros de

4". El material que es un acero al carbono probó ser un material muy adecuado para los tubos del evaporador convectivo y cumplirá con seguridad las exigencias a las cuales estarán sometidas las paredes del hogar.

Los cabezales ó colectores de las paredes serán construídas utilizando el material SA-106 Gr.B y tendrán un diámetro exterior de 8-5/8".

Calcularemos entonces los espesores de estos elementos :

#### Tubos

Norma ASME 27.2.1:  $t = [PD \div (2S+P)] + 0.005D + e$

Los tubos serán soldados a los cabezales ó colectores ;e=0

Reemplazando valores:

$$t = [1040 \times 3 \div (2 \times 11500 + 1040)] + 0.005 \times 3$$

$$t = 0.14478 \text{ pulg.}$$

$$t = \text{BWG \#9} = 0.150 \text{ pulg. Espesor comercial sup.}$$

#### Colectores ó cabezales

Norma ASME 27.2.2:  $t = [PD \div (2SE + 2yP)] + C$

Al ser el SA-106 - B, un acero ferrítico,  $y = 0.4$  ; y estar el proceso de manufactura la de un tubo son costura  $E = 1$ .

$$t = (1040 \times 8-5/8) \div (2 \times 14400 + 2 \times 0.4 \times 1040)$$

$$t = 0.3027 \text{ pulg.}$$

$t = 0.322$  pulg. que es el espesor comercial superior y que corresponde a un tubo con diámetro nominal de 8" SCH 40 según ASA B36.10 (el diámetro exterior respectivo es de 8-5/8"

según lo requerido).

#### 5.1.4.- Economizador.-

Recordando lo calculado en el Cuadro Nro.3 del capítulo 4 las siguientes son las condiciones de operación de nuestro economizador:

	<u>Ingreso</u>	<u>Salida</u>
Líquido comprimido	360 °F	365 °F
Gases calientes	715 °F	698 °F

El diámetro de los tubos del economizador fué establecido en 2".

Al ser el agua el fluído que está en contacto con las paredes de los tubos , entonces la temperatura de las paredes será prácticamente la del agua circulante (el agua tiene una alta conductancia térmica).

De acuerdo a lo prescrito por la norma PG-9.1 de la ASME y atendiendo lo recomendado por la Babcock & Wilcox, utilizaremos para los tubos absorvedores de calor del economizador el material SA-178 Gr.A , acero al carbono a partir del cual se fabrican tubos con costura electro-soldada ; y para los dos cabezales el SA-106 Gr.B acero al carbono-manganeso a partir del cual se fabrican tubos sin costura.

Para estos dos aceros según la Tabla PG-23.1 para 700°F (ya que, no obstante que la temperatura de trabajo de las paredes es de 365°F se debe utilizar el esfuerzo máximo



permisible para 700QF de acuerdo a los prescrito en la nota 2 del artículo 27.4 del Código ASME), los máximos esfuerzos permisibles serán :

SA-178 Gr. A	S = 11,500 psi
SA-106 Gr. B	S = 14,400 psi

Aplicamos entonces la fórmula PG-27.2.1 de la ASME para el cálculo del espesor de los tubos:

$$t = [PD \div (2S+P)] + 0.005D + e$$

Como son tubos soldados a cabezales  $e=1$ :

$$t = [1040 \times 2 \div (2 \times 11500 + 1040)] + 0.005 \times 2$$

$$t = 0.0965 \text{ pulg.}$$

$$t = \text{BWG \#12} - 0.109 \text{ pulg.}$$

Para el cálculo del espesor de los colectores de entrada y salida aplicaremos la fórmula 27.2.2, el diámetro de los colectores será de 6.625 pulg. que corresponde a un diámetro exterior para un tubo según ASA B36.10 de 6 pulg. de diámetro nominal y además dado que el acero escogido corresponde a una estructura ferrítica:

$$t = [PD \div (2SE + 2yP)] + C$$

$$t = [(1040 \times 6.625) \div (2 \times 14400 + 2 \times 0.4 \times 1040)]$$

$$t = 0.2325 \text{ pulg.}$$

$$t = 0.280 \text{ pulg.} \dots \text{ espesor comercial superior}$$

que corresponde a la denominación ASA  
B36.10 SCH 40.

Cuadro N°7  
Resúmen Diseño Economizador

Nro. de serpentines	4
Tubos	
Diámetro de tubos	2 "
Espesor	BWG #12 - 0.109 pulg.
Material	SA-178 Gr. A
Cabezales	
Cantidad	2 (dos) entr. y salida
Cabezal de entrada y salida	6 "
Espesor	SCH 40 - 0.28 pulg.
Material	SA-106 Gr. B

### 5.2 Cálculo del tiro.-

Mediante el presente capítulo nos dedicaremos con desarrollar los cálculos del sistema de tiro de la caldera, el cual consiste en la provisión del aire necesario para el proceso de combustión, para la conducción de los gases calientes a través de los diversos aparatos térmicos de la caldera y finalmente para la evacuación de los productos de la combustión. Las figuras a que se hará referencia se presentarán al final del capítulo.

En el capítulo 3.2 respecto de las partes

fundamentales de que constará la caldera se solicitaba que se incluya un ventilador de tiro forzado. Asimismo se indicó en el capítulo 2.3 se indicaba que la salida de gases se empalmaría a la chimenea existente la cual sería reutilizada. Esta chimenea, cuyas dimensiones fueron tomadas en el sitio, es de 75 pies de altura con un diámetro promedio de 6 pies-6 pulg.

Esta disposición del sistema de tiro proyectado para nuestra caldera está de acuerdo con los estándares que internacionalmente son aplicables tal como se desprende de la tabla XXV - del libro "Centrales a Vapor" de Gaffert. Inclusive en dicha tabla se aprecia que es requerido inclusive un ventilador de tiro inducido reforzando la evacuación de gases, pero que nosotros no utilizaremos debido a que demostraremos que con el sistema ventilador de tiro forzado + chimenea, el tiro resultante será el adecuado.

#### Cálculo caídas de presión en aparatos.-

Debido a lo bastante complejo que resultaría el utilizar ecuaciones eminentemente teóricas para el cálculo de las caídas de presión por las intrincadas disposiciones de tubos y espiras de los aparatos térmicos recurriremos entonces a fórmulas ó ecuaciones que en parte guardan correlaciones empíricas logradas en la práctica común en el diseño y que han sido tomadas del manual "Steam its use and generation" de la Babcock & Wilcox.

5.2.1.- Caída de presión en el sobrecalentador ( $h_p$ ):

La siguiente será la correlación que utilizaremos para el cálculo de las caídas de presión tanto el sobrecalentador como en los otros aparatos térmicos:

$$\Delta P = fN \frac{0.95 \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right) + 460}{57500} \left( \frac{w_g / A_g}{1000} \right)^2 \dots \dots (\beta)$$

Donde:

$\delta p$  : caída de presión en Pulg. H<sub>2</sub>O

$f$  : factor de fricción, se calculará a partir de de la figura N<sup>o</sup> 15. teniendo el número de Reynolds, el diámetro de tubos y el espaciamiento entre tubos

$N$  : número de filas de tubos del banco

$t_1$  : temperatura de los gases entrando al banco OF

$t_2$  : temperatura de los gases saliendo del banco OF

$0.95\{t_1+t_2\}/2$ : temperatura promedio de los gases (aproximación) OF

$w_g/A_g$ : flujo másico por área libre lb/pies<sup>2</sup>-OF

Entonces para el caso de nuestro sobrecalentador los datos requeridos los extraemos de los Cuadros N<sup>o</sup> 3 y 4 del capítulo 4:

$f$  : Con  $d_o=2-1/8"$ ,  $l_1/d_o=5"/2.125"=2.35$  y  $l_H/d_o=3"/2.125"=1.41$  y con  $N_{Re}=3994$ , valores estos calculados en el acápite 4.5 entramos a la Figura N<sup>o</sup>15 y obtenemos  $f=0.04$ .

(Nota:  $l_1$ =dist.÷centros en la direcc. perp. al flujo  
 $l_H$ =dist.÷centros en la direcc. paral. al flujo)

$N$  : 30 filas de tubos en la dirección paralela al flujo

$$0.95\{t_1+t_2\}/2: 0.95 \times (2180+1475)/2 = 1736 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$w_g/A_g = 2102: \text{ calculado asimismo en el acápite 4.5}$$

Reemplazando todos estos valores en la fórmula ( $\beta$ )

$$\delta p = 0.04 \times 30 \times (1736+460)/57500 \times (2102/1000)^2$$

$$\delta p = h_1 = 0.202 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

5.2.2.- Caída de presión en el banco de tubos convectivos del evaporador ( $h_2$ ):

Repitiendo los conceptos dados en el punto anterior y teniendo en cuenta los datos ya calculados en el acápite 4.5:

$$N_{Re} = 7612$$

$$d_o = 2''$$

$$l_1/d_o = 2$$

$$l_H/d_o = 2.375$$

$$f : \text{ Con la figura N}^\circ\text{15 , } = 0.063$$

$$t_1 = 1475 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 715 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$w_g/A_g = 3806$$

$$N = 14$$

Reemplazando estos valores en la fórmula ( $\beta$ )

$$\delta p = 0.063 \times 14 \times \{0.95[(1475+715/2)]+460\}/57500 \times (3806/1000)^2$$

$$\delta p = 0.33$$

Pero como en el banco de tubos del evaporador convectivo se tienen 3 pases, entonces:

$$\delta p = h_2 = 0.33 \times 3 = 1 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$



### 5.2.3.- Caída de presión en el economizador ( $h_3$ ).-

Repitiendo los procedimientos anteriores:

$$N_{Re} = 19103$$

$$d_o = 2''$$

$$l_1/d_o = 3$$

$$l_H/d_o = 2$$

$$f : \text{Con la figura N}^\circ 15, f = 0.03$$

$$t_1 = 715 \text{ } \circ\text{F}$$

$$t_2 = 698 \text{ } \circ\text{F}$$

$$w_g/A_g = 7641$$

$$N = 4$$

Reemplazando estos valores en la fórmula ( $\beta$ )

$$\delta p = 0.03 \times 4 \times \{0.95[(715+698/2)]+460\} / 57500 \times (7641/1000)^2$$

$$\delta p = h_3 = 0.14 \text{ Pulg. H}_2\text{O.}$$

### 5.2.4.- Caída de presión ducto de descarga de gases calientes ( $h_4$ ).-

A efectos de desarrollar en forma bastante aproximada los cálculos del presente tópico recurriremos a el Plano N<sup>o</sup> TE-01 en el que con cierto grado de detalle se ha podido plasmar las dimensiones que adoptaría nuestra caldera, cumpliéndose en todo momento la doble exigencia de respetar los resultados obtenidos en la presente Tesis y las restricciones de espacio existentes en el sitio para el montaje de la nueva unidad.

El cálculo de esta presión lo efectuaremos por tramos a efectos de ir aplicando paulatinamente las fórmulas adecuadas a cada caso:

Tramo "a" : - tramo recto de sección rectangular (h<sub>4.1</sub>)

L : Longitud del tramo = 3'-6" = 3.5 pies

h : Altura de la sección = 42" = 3.5 pies

w : Ancho de la sección = 13.3 pies

- Temp. promedio de los gases = (715 + 698)/2 = 707°F
- Area de la sección = h x w = 3.5 x 13.3 = 46.6 pies<sup>2</sup>
- Diámetro equivalente =  $4 \times A/P = 4 \times 46.6 / 2(13.3+3.5)$   
= 5.53 pies = 66.4 pulg.

La ecuación que aplicaremos a efectos de evaluar las pérdidas de presión en tramos rectos debido a la fricción con las paredes será la siguiente:

$$\Delta p = \frac{fLV}{d} \left( \frac{G}{100,000} \right)^2 \dots \dots (\alpha)$$

Donde:

$\delta p$  : caída de presión en (lbs/pulg<sup>2</sup>)

L : longitud del tramo (pies)

d : diámetro equivalente (pies)

V : volumen específico (pies<sup>3</sup>/lb)

G : flujo másico (lbs/hr-pies<sup>2</sup>)

En esta ecuación el factor de fricción "f" se determinará una vez evaluado el número de Reynolds:  $N_{Re} = dG/12\mu$  y luego entrando al diagrama de Moody en la Figura N<sup>o</sup>16.

El valor de G será  $220,743 \div 46.6 = 4737$  lbs/hr-pies<sup>2</sup>

El volumen específico medio de los gases para un promedio

de 7070F, de la figura N017, interpolando  $V=28.22$  pies<sup>3</sup>/lb

La viscosidad absoluta de los gases a 7070F lo obtendremos de la figura N018 ;  $\mu = 0.07$  lb(masa)/pies-hr

Entonces el Número de Reynolds será

$$dG/12\mu = (66.4 \times 4737) / (12 \times 0.07) = 374,445$$

Con el diagrama de Moody de la figura N016

$$f = 0.015$$

Finalmente en la fórmula ( $\alpha$ ):

$$\delta p = (0.015 \times 3.5 \times 28.22 / 66.4) \times (4737/100000)^2$$

$$\delta p = 5.006739 \times 10^{-5} \text{ lbs/pulg}^2$$

Pero como la densidad del agua a condiciones normales es de 62.4 lbs/pies<sup>3</sup> = 0.0360515 lbs/pulg<sup>3</sup>, entonces:

$$\delta p = 5.006739 \times 10^{-5} \text{ lbs/pulg}^2 \div 0.0360515 \text{ lb/pulg}^3$$

$$\delta p = 0.001389 \text{ Pulg. H}_2\text{O (=h}_{4.1}\text{)}$$

(En lo sucesivo para pasar de lbs/pulg<sup>2</sup> a P H<sub>2</sub>O, solo haremos la multiplicación por 1/0.0360515 = 27.736).

Tramo "b" : - reducción de sección ( $h_{4.2}$ )

La siguiente será la fórmula que aplicaremos en el caso de reducción de sección de ductos:

$$\Delta p = \left[ 1.05 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (\theta)$$

Donde:

$\delta p$  : caída de presión en pies de gases

$A_2$  : Area sección mayor , pies<sup>2</sup>

$A_1$  : Area sección menor , pies<sup>2</sup>

$v_2$  : velocidad en la sección mayor , pies/seg

$g$  : Gravedad, 32.2 pies/seg<sup>2</sup>

Para nuestro y siempre refiriéndonos a nuestro plano NO TE-01 , los datos para la solución de la ecuación planteada serían los siguientes:

$$- A_2 = 3.5 \text{ pies} \times 12 \text{ pies} = 42 \text{ pies}^2$$

$$- v_2 = [(220,743 \text{ lb-hr}) / (42 \text{ pies}^2)] \times [28.22 \text{ pies}^3 / \text{lb} \div 60 \text{ min}]$$

$$v_2 = 2472 \text{ pies/min} = 41.2 \text{ pies/seg}$$

$$- A_1 = \text{calculada para el tramo anterior en } 46.6 \text{ pies}^2$$

Reemplazando estos valores en la fórmula ( $\theta$ ):

$$\delta p = \left[ \left\{ 1.05 - \left( \frac{42}{46.6} \right)^2 \right\} \times (41.2 \text{ pie/sseg})^2 \right] / 2 \times 32.2$$

$$\delta p = 6.26 \text{ pies de gases}$$

$$\delta p = 6.26 \times 12 \times (\text{dens. gases} / \text{dens. agua})$$

$$= 6.26 \times 12 \times 0.03543 / 62.4$$

$$\delta p = h_{4.2} = 0.043 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

Tramo "c" : - Ampliación de sección ( $h_{4.3}$ )

Desde calentador de aire hasta chimenea

Aplicaremos la siguiente fórmula:

$$\Delta p = k \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \dots \dots (\Omega)$$

Donde:

k : Constante de pérdidas hidráulicas por agrandamiento gradual de sección: (Extraído del "Steam" B&W)

Angulo	6	10	20	40	60
K	0.14	0.18	0.44	0.85	1.10

Para nuestro caso, para un ángulo aproximado de  $29^\circ$

- k = 0.60
- $v_1 = 41.2$  pies/seg (calculado para el tramo anterior)
- $A_2 =$  area sección entrada chimenea =  $8 \times 6 = 48$  pies<sup>2</sup>
- $v_2 = (220,743 \text{ lb/hr}) / (48 \text{ pies}^2) \times 28.22 \times [1/60]$
- $v_2 = 2163$  pies/min. = 36 pies/seg.

Reemplazando todos estos valores en la ecuación ( $\Omega$ ):

$$\delta p = 0.6 \times ((41.2)^2 - (36)^2) \times (1/2g)$$

$$\delta p = 3.74 \text{ pies de gases} \times 12 \times (0.03543/62.4)$$

$$\delta p = h_{4.3} = 0.025 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$



Tramo "d" : - Ingreso a chimenea ( $h_{4.4}$ ):

Esta pérdida hidráulica es similar a la del ingreso de un ducto a un depósito, por lo que aplicaremos la siguiente fórmula:

$$\Delta p = 1.0 \frac{v^2}{2g} \dots (\phi)$$

Donde:

$\delta p$  = caída de presión en pies de gases

$v$  = velocidad de los gases previo al ingreso al depósito

Reemplazando todos los valores que son ya conocidos:

$v = 36$  pies/seg. , calculado en el tramo anterior

$$\delta p = 1.0 \times (36 \text{ pies/seg})^2 / 2g$$

$$\delta p = 20.12 \text{ pies de gases}$$

$$\delta p = 20.12 \times 12 \times (0.03543/62.4)$$

$$\delta p = h_{4.4} = 0.14 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

#### Resumiendo

Tramos	Caídas de presión
a	0.0014
b	0.0430
c	0.0250
d	0.1400

Total pérdidas de presión ... 0.2100 Pulg. H<sub>2</sub>O

en ductos de descarga de gases

calientes ( =  $h_4$  )

5.2.5 .- Caída de presión en el ducto de alimentación de aire fresco ( $h_s$ ).-

Tramo "a" .- tramo recto desde el precalentador de aire hasta los quemadores:

Extrayendo datos del plano TE-01 y de los Cuadros NOs 3 y 4:

Longitud del tramo : 40'-3"-7/8"

Sección: h (altura del ducto) = 42 pulg = 3.5 pies

w (ancho del ducto) = 9'-4" = 9.3 pies

$m_a$ (flujo másico aire) = 207,260 lb/hr

Temp. prom. en el tramo = 470 °F

Con estos datos entonces calculamos las siguientes variables:

Para el aire fresco a 470°F y del tablas:

$v$  (volúmen espec. ) = 23.75 pies<sup>3</sup>/lb

$\mu$  (viscosidad abs. ) = 0.066b(masa)/pies-hr

Area de la sección (A):  $h \times w = 3.5 \times 9.33 = 32.7$  pies<sup>2</sup>

Diámetro equiv. (d):  $4A/2p$

=  $4 \times 32.7 \div 2(3.6+9.33) = 5$  pies = 60pulg.

Flujo específico (G):  $m_a \div A$

=  $207,260 / 32.7 = 6338$  lb/hr-pies<sup>2</sup>

Número de Reynolds (Re):  $dG/12\mu$

=  $60 \times 6338 / 12 \times 0.066 = 480,152$

Con la figura NQ16 ;  $f=0.014$

Reemplazando todos estos datos en la fórmula ( $\alpha$ )

$\delta p = 0.014 \times [40.32 \times 23.75 / 60] \times [6338/100000]$

$\delta p = 0.025$  Pulg. H<sub>2</sub>O

Tramo "b" .- Cambio de dirección (90°) del flujo de aire  
antes del ingreso a los quemadores

Calculando primero la velocidad media en el ducto:

con la siguiente fórmula:

$$v = (m/A)V = G \times V$$

$$v = (6338 \text{ lb/hr-pies}^2) \times (23.75 \text{ pies}^2/\text{lb}) \div 60$$

$$v = 2,508 \text{ pies/min.} = 41.8 \text{ pies/seg.}$$

$$v^2/2g = 41.8^2/2 \times 32.2 = 27.13 \text{ pies de fluido}$$

Con la Figura N° 19 , calcularemos la constante  $N_b$  que es la constante por pérdidas de presión por cambios de sección:

$$\text{Aspect ratio} = w / d = 9.33/3.5 = 2.66$$

$$\text{Radius ratio} = r / d = 2.50/3.5 = 0.71$$

Con estos datos y la figura mencionada :  $N_b = 0.85$

Reemplazando este dato en la siguiente fórmula:

$$\Delta P = N_b \frac{v^2}{2g}$$

$$\delta p = 0.85 \times 27.13 = 23.1 \text{ pies de aire}$$

$$\delta p = 23.1 \times 12 \times (1/23.75)/62.4$$

$$\delta p = 0.19 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

Al existir dos codos ya que el segundo es el que obliga a los gases a cambiar de dirección hacia los quemadores:

$$\delta P = 0.19 \times 2 = 0.38 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

Tramo "c".- Pérdidas por entrada al ducto de aire ó ingreso al sistema.-

La conocida fórmula es la que aplicaremos:

$$\Delta p = 0.50 \frac{v^2}{2g}$$

Reemplazando todos los datos que ya son conocidos:

$$\delta p = 0.5 \times 27.13 \times 12 \times (1/23.75)/62.4$$

$$\delta p = 0.11 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

Tramo "d".- Ampliación de sección a la salida del ventilador.-

Aplicaremos la ecuación ( $\Omega$ ) y la tabla precisada en el tramo "c" del tópico anterior, teniendo en cuenta que el ángulo de ampliación para este caso es de aprox.  $30^\circ$  :

$$k = 0.65$$

En este segmento de tramo el aire aún no ha sido precalentado por lo que está a la condición ambiente de  $T_0 = 85^\circ\text{F}$ , a la cual de acuerdo a la figura N $^\circ$  16 le corresponde un volumen específico ( $V$ ) de  $13.4 \text{ pies}^3/\text{lb}$

$$A_1 = w \times h = 5' \times 4' = 20 \text{ pies}^2$$

$$A_2 = w \times h = 11' \times 5.5' = 60.5 \text{ pies}^2$$

Determinando las velocidades por la siguiente ecuación:

$$v = (m/A) \times V$$

$$v_1 = (207260/20) \times 13.4 \times (1/60)$$

$$v_1 = 2314 \text{ pies/min} = 38.6 \text{ pies/seg}$$

$$v_2 = (207260/60.5) \times 13.4 \times (1/60)$$

$$v_2 = 765 \text{ pies/min} = 12.8 \text{ pies/seg}$$

Reemplazando valores en la ecuación ( $\Omega$ ):

$$\delta p = 0.65 \times [(38.6 - 12.8)^2] / [2 \times 32.2]$$

$$= 6.72 \text{ pies de aire}$$

$$\delta p = 6.72 \times (1/13.4) / 62.4$$

$$\delta p = 0.10 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

#### Resumiendo

Tramos	Caídas de presión
a	0.025
b	0.380
c	0.110
d	0.100

-----

Total pérdidas de presión ... 0.615

en el ducto de aire fresco ( $h_5$ )

#### 5.2.6 .- Caída de presión en el calentador de aire

##### Ljunstrom ( $h_6$ ) .-

La evaluación de la caída de presión tanto por el lado de los gases calientes como por el del aire fresco a su paso por el calentador de aire Ljunstrom, resultaría muy complicada en su evaluación por lo intrincado de las partes internas de este aparato como fué precisado en el acápite correspondiente, de allí que para este equipo recurrimos a la experiencia operativa de fabricantes reconocidos y lo hicimos nuevamente a través de "Distral",



Nos suministraron entonces los siguientes datos producto de su experiencia:

Lado gases calientes :	4.25 Pulg. H <sub>2</sub> O
Lado aire fresco :	3.25 Pulg. H <sub>2</sub> O
	-----
Total :	6.80 Pulg. H <sub>2</sub> O

#### 5.2.7 . Caídas de presión en el quemador ( $h_f$ ) .

La pérdida de presión del aire a través de los quemadores, se produce cuando aquel es forzado a entrar al intrincado anillo que en los quemadores se tiene previsto perimétricamente para el paso del aire de combustión, originándose asimismo el adecuado ambiente de turbulencia el cual favorece a la combustión. Se comprenderá pues que esta caída de presión es relativamente importante y difícil en cuanto a su medición por medio de conceptos puramente teóricos, y más bien este se conoce por medio de la información que dan los proveedores de quemadores que a través de ensayos miden dicha caída de presión.

Para nuestro caso este dato nos fué suministrado por "Distral" y es de 5 Pulg. de H<sub>2</sub>O para régimen de plena carga

5.2.8 Resumimos entonces el conjunto de todas las pérdidas de presión tanto del lado de gases como del aire fresco a su paso de estos fluidos por los diferentes

aparatos térmicos y ductos que constituyen nuestra caldera:

Resumen total de pérdidas de tiro en la caldera

Lado de gases	Caídas de presión
Sobrecalentador	0.202
Banco tubos evaporador	1.000
Economizador	0.140
Calentador Ljunstrom	4.250
Ducto de gases	0.210
Sub - Total	5.802
Lado de aire fresco	
Ductos	0.615
Calentador de aire	3.250
Quemadores	5.000
Sub - Total	8.8650
TOTAL Pulg. H <sub>2</sub> O	14.667

Así pues la pérdida total de tiro es de 14.7 pulg. de agua, a condiciones de régimen de máxima producción de vapor (190,000 lb/hr) que será necesario vencer a través de un ventilador de tiro forzado .

La presencia de la chimenea dentro del sistema de tiro de la caldera , realmente , aporta muy poco de altura

ó de energía al sistema de tiro , y su función es más bien el de proveer al sistema de un medio eficaz de succión de los gases calientes hacia lo alto de la atmósfera y hacia el mar , sin contaminar el ambiente de la planta térmica ni el de los equipos periféricos. A continuación entonces calcularemos el tiro ó succión proveído por la chimenea existente:

Las dimensiones de la chimenea existente fueron tomadas en el lugar de la planta y son:

Altura (H) = 75 pies

Diámetro promedio (D) = 6 pies - 6 pulg

Las fórmulas que aplicaremos para los cálculos han sido extraídas del "Steam its use and generation" de la Babcock and Wilcox y son los siguientes:

Tiro en una chimenea (Stack Draft) :

$$Sd = 0.256Hp' \left[ \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right]$$

Pérdidas de presión por fricción en una chimenea (Stack flow loss) :

$$Sfl = 0.0942 \left( \frac{T_g}{D^4} \right) \left( \frac{W}{100000} \right)^2 \left( 1 + \frac{fH}{D} \right)$$

Donde :

H : Altura de la chimenea , pies

p' : Presión atmosférica en pulg de mercurio

$T_a$  : Temperatura absoluta del lado de aire  $^{\circ}R$

$T_g$  : Temperatura absoluta promedio del lado de gases  $^{\circ}R$

$D$  : Diámetro de la chimenea , pies

$w$  : Flujo másico de los gases , lb/hr

$f$  : Factor de fricción en chimeneas , de la Figura N<sup>o</sup> 20

Para nuestro proyecto:

$p'$  : a 50 pies s.n.m. 29.92 pulg de  $H_2O$

$T_a$  : 85  $^{\circ}F$  + 460 = 545  $^{\circ}R$

$T_g$  : primeramente calcularemos en forma aproximada la temperatura de salida de los gases:

Con la Figura N<sup>o</sup> 21 ;  $T_{sg} = 296$   $^{\circ}F$

La temp. de ingreso a la chimenea es aproximadamente igual a la de salida del calentador de aire, Cuadro N<sup>o</sup>3; 362  $^{\circ}F$

Entonces  $T_g = (296 + 362) / 2 = 329$   $^{\circ}F$  + 460 = 789  $^{\circ}R$

$w$  : 220,743 lb/hr

$f$  :  $Re$  (número de Reynolds) =  $(27,600 \times w) / (T_g \times D)$

$Re = (27,600 \times 220743) / (789 \times 6.5) = 1'188,000$

Con este N<sup>o</sup> de  $Re$  y la figura N<sup>o</sup> 20 ;  $f = 0.015$

Reemplazando todos estos datos en las fórmula planteadas líneas arriba:

$S_d = 0.33$  Pulg.  $H_2O$

$S_{f1} = 0.24$  Pulg.  $H_2O$

El tiro neto disponible por el efecto chimenea será entonces:

$S_n = 0.33 - 0.24 = 0.09$  Pulg.  $H_2O$

Que como se vé es bastante pequeña y no deberá tomarse en cuenta a efectos de diseñar el ventilador de tiro forzado.

Ahora bien , conforme a lo solicitado por Hierro - Perú , (ver acápite 3.4.f), el ventilador forzado para el presente proyecto deberá ser diseñado teniendo en cuenta una capacidad de caldero de 200,000 lb/hr que envolverá cualquier pérdida no tomada en cuenta , por tanto la altura ó energía que deberá suministrar el ventilador al sistema de tiro será aproximadamente:

$$H = 14.7 \times (200,000 \div 170,000)^2$$

$$H = 16.30 \text{ Pulg. H}_2\text{O}$$

El flujo másico de aire fresco fué ya determinado en

$$m_a = 207,260 \text{ lb/hr de aire}$$

Expresando este valor en CFM ( ó pies<sup>3</sup>/min)

$$\text{CFM} = m_a \div \text{dens. aire fresco}$$

$$\text{CFM} = 207,260 \text{ lb/hr} \div 0.0750 \text{ lb/pies}^3 \times (1/60 \text{ hr/min})$$

$$\text{CFM} = 46,058$$

Con estos datos calculados del comportamiento del ventilador de tiro forzado a pleno régimen, entonces es posible seleccionar el ventilador para nuestra caldera; por ejemplo la potencia aerodinámica que absorberá este ventilador será:

$$P_a = 0.0001573 \times \text{CFM} \times H$$

Reemplazando valores:



$$P_a = 0.0001573 \times 46058 \times 16.30$$

$$P_a = 118.1 \text{ HP}$$

Considerando para este tipo de ventiladores una eficiencia global aproximada (que involucra pérdidas hidráulicas, volumétricas e hidráulicas) de 60%, entonces la potencia del motor será de por lo menos:

$$P_m = 132.4 \div 0.60 = 200 \text{ HP}$$

En cuanto a la cifra característica llamada número específico de revoluciones de caudal  $N_q$ :

$$N_q = N ( Q^{3/4} ) \div H^{5/4}$$

Donde  $N$  para este tipo de ventiladores es usualmente de 1,800 Rpm,

$$Q = \text{caudal} = 46,058 \text{ CFM} = 21.74 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$H = \text{Altura} = 16.30 \text{ pulg H}_2\text{O} = 613.57 \text{ mts de aire}$$

Reemplazando valores:

$$N_q = 68.1$$

Número que indica que nuestro ventilador será centrífugo ya que  $N_q$  es menor a 80 que es el límite superior que lo ubica dentro del rango característico para ventiladores centrífugos.

Finalmente a continuación presento el siguiente cuadro resumen del diseño mecánico de nuestro ventilador:

## Resúmen Ventilador de tiro forzado

Caudal	46,058 CFM
Altura ó P.E.	16.30 Pulg. H <sub>2</sub> O
Potencia hidráulica	118.10 Hp
Potencia Mecánica	200.00 Hp
Nq	37.40
Temp. del aire ingreso	85 °F
Tipo de motor	Inducción jaula de ardilla, 60 Hz, 3 Ph , 4160 Volts
Velocidad de régimen	1,800 Rpm
Tipo de ventilador	Centrífugo Con dos cajas de entrada

5.3 Equipo de combustión .

En el acápite 3.4.c se precisó que Hierro-Perú solicitaba el que la caldera este provista de quemadores del tipo horizontal (en número de 4) y que sean diseñados para atomización mecánica.

El que los quemadores sean del tipo horizontal nos indica que estos deben ser instalados de modo tal que la llama sea producida según una dirección horizontal.

El que los quemadores sean de atomización mecánica nos indica que el proceso de fracturación del combustible

líquido en infinidad de pequeñas gotas para una mejor eficiencia del proceso de combustión deberá ser efectuado por medios mecánicos. En este caso el combustible fuel oil es enviado por intermedio de una bomba de gran presión al quemador, rompiéndose el chorro contra un plato difusor, el aire suministrado por el ventilador de tiro forzado se mezcla con el petróleo pulverizado con un elevado grado de turbulencia generándose una llama cónica fuerte y estable con unos 60° de abertura. Es necesario precisar que el necesario precalentamiento del combustible (hasta unos 100 a 120 °C) y el apropiado bombeo de éste, se hará con equipos existentes en la planta que el personal de mantenimiento de la planta confirmó que se encuentran en buenas condiciones conforme fué indicado el acápite 2.3 del presente trabajo, no siendo por tanto motivo de diseño en el presente estudio.

Comparando el sistema de atomización mecánica con el de atomización por vapor, que es el otro sistema, podemos decir existe cierta tendencia general en inclinarse por quemadores con atomización mecánica, porque en el otro el consumo de vapor es considerable (pudiendo representar entre un 3 a 5% de la producción del caldera "Gaffert"), aunque los que promueven la atomización por vapor aseguran que existe mayor eficiencia de la combustión, facilidad de mantenimiento y un mejor control de la combustión.

La selección correcta de este tipo de quemadores se efectúa teniendo en cuenta dos parámetros fundamentales:

El tamaño del hogar y

La cesión de energía de combustión.

Respecto del tamaño del hogar, que básicamente está representado por el ancho del hogar (que en nuestra caldera es de 13'-4"), los quemadores deben ser seleccionados de modo tal que la llama no dañe las paredes laterales por incidencia directa de la llama.

Respecto de la cesión de energía los quemadores son diseñados y fabricados según cierta capacidad de cesión de energía, como nosotros en la caldera produciríamos en total 249'019,650 Btu/hr de energía (como calor agregado, véase el acápite 4.3) entonces cada uno de los cuatro quemadores deberá ser capaz de proporcionar aproximadamente 62.3 millones de Btu/hr.

Será entonces con los datos del ancho de nuestro hogar, 13'4" y de la capacidad de proporcionar energía por quemador, 62.3' Btu/hr que se podrá escoger y seleccionar específicamente de catálogos de fabricantes garantizados los cuatro quemadores para combustible fuel oil y por atomización mecánica.

Nuestros quemadores así pues constarán de la siguiente relación itemizada de partes y/o accesorios:

- Cuatro quemadores de ensamble frontal, con registro de tiro forzado, atomización mecánica de amplio rango de control diferencial , mangueras flexibles para aceite y vapor, válvulas manuales de suministro y retorno de combustible, todo lo anterior dispuesto para trabajar con hogar presurizado y comercialmente a prueba de escapes.
- Anillos para la combustión futura de gas natural, según lo solicitado por Hierro-Perú.
- Juego de boquillas que siempre son requeridas para quemar combustible liviano (calentamiento y baja carga).
- Conjunto de refractarios para la garganta del quemador.
- Encendedor eléctrico a gas, provisto de transformador, electrodo detector de llama , caja de control de válvulas solenoides, válvulas manuales, y manguera flexible para gas.

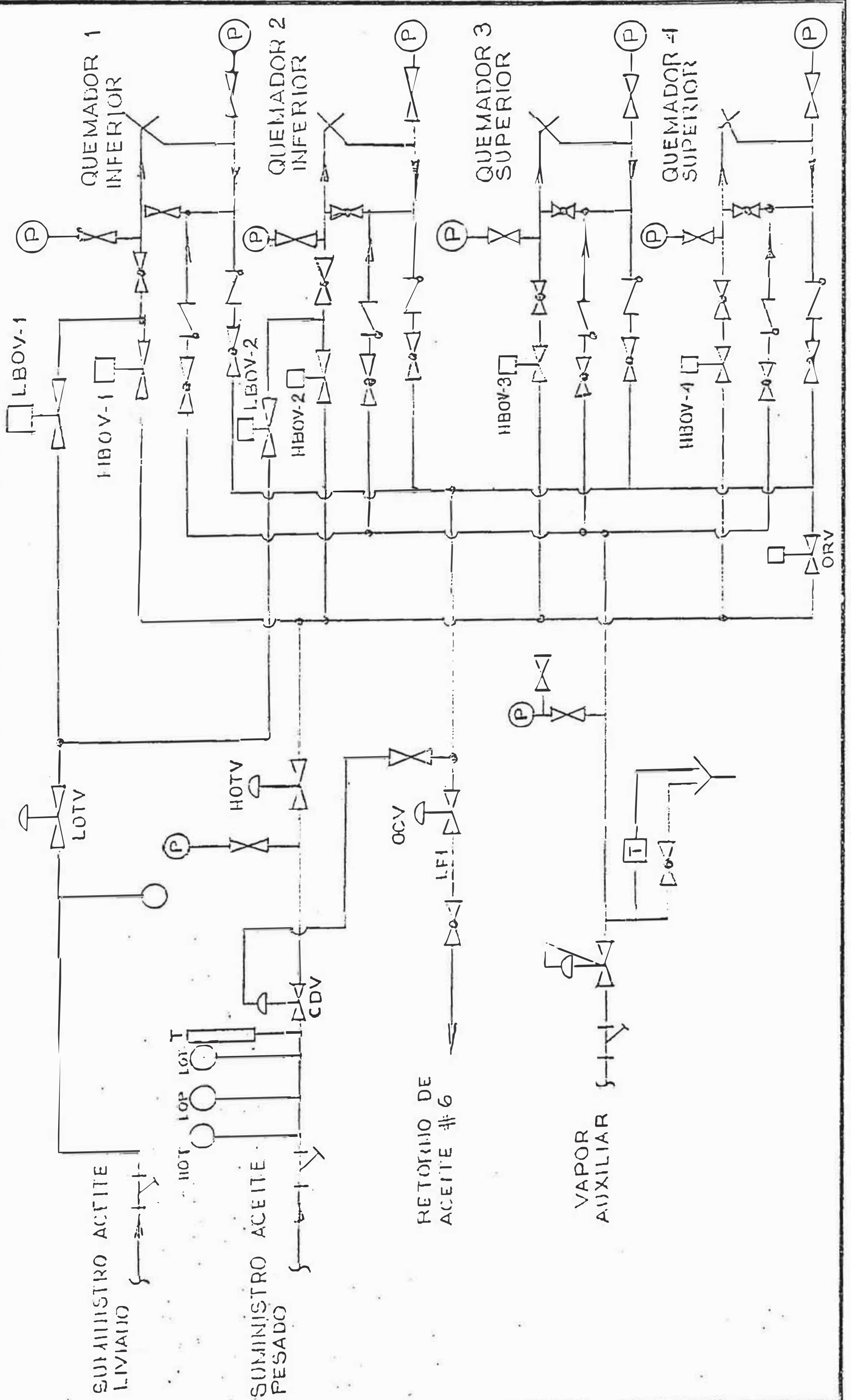
El sistema también constará de un equipo de seguridad de llama requerido para manejar los cuatro quemadores de combustible pesado y dos quemadores de combustible liviano para el calentamiento de la caldera durante el arranque. Este Sistema de Control Lógico Programable basado en microprocesador será instalado en un panel local para el adecuado manejo de los quemadores, se dispondrá también de un controlador para la lógica común de permiso de encendido y disparo de los mismos y un controlador



individual para cada quemador con alarmas é indicación de parada/arranque.

La siguiente ilustración N°15 que se muestra en la página siguiente es un esquema general unifilar de la disposición de los quemadores que dispondremos para nuestra caldera.

ILUSTRACION N° 15  
ESQUEMA UNIFILAR QUEMADOR (4)



En dicha ilustración tenemos esquematizados los siguientes dispositivos de control:

- a.- LBOV 1 y 2, válvulas de corte de aceite liviano a quemadores inferiores para arranque u operación a baja carga.
- b.- HBOV 1,2,3 y 4, válvulas de aceite pesado a los cuatro quemadores.
- c.- LOTV, válvula de corte cabezal de aceite liviano.
- d.- HOTV, válvula de corte cabezal de aceite pesado.
- e.- DCV , válvula de control de aceite pesado.
- f.- CDV , válvula de control de presión diferencial.
- g.- HOT , interruptor de alta temperatura de aceite.
- h.- LOP , interruptor de baja presión de aceite.
- i.- LOT , interruptor de baja temperatura de aceite.
- j.- T , termómetro.
- k.- P , manómetro.

#### 5.4 Aislamiento y cierre de la caldera.-

Este es un punto importante de la unidad ya que de lo adecuadamente correcto que se diseñen é implemeten estos elementos, se promoverá una mejor eficiencia y un mejor desempeño de la unidad, es decir sin extremas pérdidas de calor por radiación y sin extremos ingresos de aire falso que forzarían la carga de nuestro ventilador de tiro forzado.

Como se explicó ya con anterioridad las paredes del hogar están compuestas de tubos unidos entre sí mediante aletas longitudinales, a través de los cuales circula una mezcla de vapor y agua en su estado de saturación. Es entonces este tipo de paredes las que rodearán por completo no solo al hogar sino a toda la caldera incluyendo techo y pisos de acuerdo al modelo de la caldera propuesto y siguiendo el moderno criterio de diseño de generadores de vapor.

Al ser la temperatura de saturación de la mezcla agua-vapor de 531 °F, y debido a que la ebullición producida dentro de los tubos es del tipo pelicular tenemos entonces que las paredes metálicas de los tubos presentarán temperaturas bastante aproximadas a los 531 °F.

Debido a que se utilizará lana mineral para el aislamiento periférico completo de la unidad entonces según el siguiente cuadro típico para este material escogeremos los espesores de diseño de la lana mineral (Fuente "DISTRAL S.A."), espesor que ocasionará tan solo apreciables pérdidas por radiación contemplados en el balance térmico de la caldera:

<u>Límite de Temperatura °F</u>			<u>Espesor aislamiento, Pulg.</u>
Hasta	a	399	2
400	a	499	2-1/2
500	a	599	3
600	a	699	3-1/2
700	a	899	4
900	a	1099	4-1/2
1100	a	1299	5

En en el caso de las paredes de la caldera el espesor de la lana mineral requerida será entonces de 3 pulg.

Sin embargo existirán ciertos elementos en nuestra caldera que interiormente contendrán vapor sobrecalentado y que estarán exteriormente en contacto con el ambiente , como el colector de salida del sobrecalentador y tramo de tubo de transporte de vapor sobrecalentado, de allí que estos elementos al tener temperaturas en la pared de aproximadamenre 950 °F, serán forradas con lana mineral de 4-1/2 pulg de espesor.

Por último los ductos de gases de calientes y el calentador de aire al estar a una temperatura promedio de 450 °F, entonces el espesor apropiado del aislamiento será de 2-1/2 pulg.



Los siguientes serán entonces las superficies que serán forradas con material aislante siguiendo lo precisado líneas arriba:

- 1.- Tambores y todas las paredes de agua de la caldera.
- 2.- Partes expuestas de los cabezales ó colectores de las paredes de agua.
- 3.- Ductos de gases.
- 4.- Economizador.
- 5.- Calentador de aire

Con respecto al acabado del cierre final este será llevado a cabo siguiendo las prácticas corrientemente seguidas por constructores calificados:

Las paredes laterales, trasera y techo de la unidad serán cubiertas con lámina acanalada de aluminio de 0.04" de espesor.

El calentador será cubierto también con lámina de aluminio de 0.04" de espesor.

Se dejarán provistas puertas de acceso y observación:

Una puerta de acceso al hogar de la caldera

Una puerta de acceso a la parte baja del banco

Ocho puertas de observación en las paredes

Dos puertas de acceso al calentador de aire

### 5.5 Estructuras de plataformas de acceso.-

En éste acápite procederemos con el diseño de las plataformas estructurales que cumplirán la función de dar acceso a los diferentes niveles del generador de vapor a efectos de lograr satisfacer las siguientes necesidades de operación:

Permanente observación del conjunto de la caldera en sí, lográndose de este modo la correcta operación exterior de la unidad, verificar fugas, deterioros en la chapa recubridora y en el aislamiento, ataque atmosférico superficial, etc.

Permitir la adecuada lectura de los instrumentos instalados exteriormente.

Permitir el acceso a la puertas de acceso al interior de la caldera ( man-holes ), mirillas, etc.

En el plano TE-02 hemos proyectado esquemáticamente la estructura que adoptará esta plataforma, mediante el siguiente cálculo estructural procederemos a seleccionar y dimensionar los elementos estructurales que la conformarán.

## Cálculo estructural

De acuerdo a lo solicitado por Hierro-Perú en el punto 3.5.c del presente trabajo, esta estructura debería ser diseñada para una carga viva no menor de 120 lbs/pies<sup>2</sup>. Entonces de acuerdo al plano mencionado, nuestro cálculo estará fundamentalmente dirigido a la selección del perfil estructural que utilizaremos en las columnas y en las vigas de la mencionada plataforma.

Primeramente para el establecimiento del ancho de la pasarela fué necesario solicitar la opinión del personal que opera la actual caldera NQ3, quienes precisaron que un ancho conveniente y adecuado sería de 1.0 mt.

1.- Tomaremos como "vano" de referencia, el eje "C-D", nivel +28'-2", que al tener 15'-7" (=15.58 pies) de longitud es más crítico que al "vano" "B-C".

El metro de ancho sugerido para esta plataforma implica 3.28 pies,

Por tanto el área a ser soportada en este vano es:

$$A_p = 15.58 \times 3.28 = 51.10 \text{ pies}^2$$

Por tanto al multiplicar la suma de la carga viva + la carga muetra por esta área, obtendremos la carga total (que es uniformemente distribuída) a ser soportada por este tramo de plataforma . La carga muerta estará constituída por el peso del piso metálico que se instalará

en esta plataforma y las barandas de protección periféricas. Según nuestro diseño se ha previsto piso de parrilla metálica de 1"x3/16", con un peso propio de 46 kgs/m<sup>2</sup> que equivale a 9.4 lbs/pie<sup>2</sup>. Las barandas serán de tubo std. 1.1/4" y platina de fondo de 4" x 1/4" con un peso propio de 13.8 kgs/mt que equivalen a 1.91 lbs/pie. Por lo tanto:

$$W_{pt} = 51.10 \times (120 + 9.4) + (1.91 \times 15.58) = 6,642 \text{ lbs.}$$

A efectos de diseño y con el fin de asegurar la estructura contra los fuertes vientos que existen en la zona, y contra posibles sismos, multiplicamos esta carga total por un factor de seguridad de 1.5 con la cual obtendremos nuestra carga de diseño:

$$W_{pd} = 6,642 \times 1.5 = 9,963 \text{ lbs.}$$

2.- Esta carga total a ser soportada por la plataforma será asumida por dos vigas, una frente a la otra, ambas a los extremos de la plataforma conforme se visualiza en la vista corte A-A.

Por tanto cada viga soportará una carga total (uniformemente distribuida a efectos del cálculo) de:

$$W_v = 9963 / 2 = 4,982 \text{ lbs.}$$

Si dividimos esta carga total entre la longitud total de la viga la carga distribuida será:

$$w = 4,982 / 15.58 = 320 \text{ lbs/pie.}$$

3.- A efectos de desarrollar los cálculos utilizaremos el "Manual of Steel Construction" de la AISC, 9na edición, de

modo que las referencias que a continuación se indiquen estarán referidas a aquel elemento de consulta.

Las vigas y columnas serán seleccionadas teniendo en cuenta la especificación ASTM A-36 con  $F_y = 36,000 \text{ lbs/pulg}^2$ .

### Cálculo de la Vigas

Calcularemos primeramente las reacciones en los extremos y el momento de flexión máximo:

De la pág 2-296 del manual y asumiendo que nuestra configuración asemeja al de una "viga simplemente apoyada" - uniones empernadas a las columnas de apoyo.

Tenemos:

$$\begin{aligned} - \text{Reacciones laterales} &= w l \div 2 = 320 \times 15.58 / 2 \\ &= 2,493 \text{ lbs} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Momento máximo} &= w l^2 \div 8 = 320 \times (15.58^2) / 8 \\ &= 9,709 \text{ lbs-pies} \end{aligned}$$

Este momento máximo se producirá al centro de la viga.

#### Criterio de diseño por máximo esfuerzo permisible.-

Tablas Pag 2-7 a 2-13,

- Asumimos  $F_b$ , el esfuerzo máximo de flexión =  $0.66F_y$   
(Aplicable a vigas de sección compacta).

$$\text{Entonces } F_b = 0.66 \times 36000 = 23,760 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$\text{Esfuerzo requerido } S_x = M_{\text{máx}} \div F_b = (9,709 / 23760) \times 12$$

$$S_x = 4.90 \text{ pulg}^3$$



Con este dato entramos a la Tabla de esfuerzos máximos permisibles para diferentes tipos de Vigas estructurales y obtenemos que el valor más próximo es de: 5.46 que corresponde a un perfil W4 x 13,

Sin embargo, este perfil tiene un  $L_c=4.3$  pies y un  $L_u=15.6$  pies.

De acuerdo a esto, arriostremos el lado de compresión de la viga en dos intervalos iguales de  $15.58 \div 2 = 7.79$  pies =  $L$ , que, al ser mayor a  $L_c=4.3$  pies y menor a  $L_u = 15.6$  pies, implica el que se rechequen los cálculos.

Entonces para la nueva condición  $F_b=0.6F_y$ ,

$$F_b = 0.6 \times 36000 = 21600 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$S_x (\text{requ.}) = M_{\text{máx}} \div F_b = (9,709 \div 21600) \times 12$$

$$S_x (\text{requ.}) = 5.39, \text{ que es menor al } S_x (\text{perfil}) = 5.46$$

por lo que utilizaremos la viga señalada:

Vigas: Usar W4 x 13 con un arriostamiento central en la viga para conformar dos intervalos iguales.

Se ha analizado la condición más crítica en cuanto al diseño de las vigas, la otra condición de diseño se refiere al "vano" "B-C", que al tener una luz total de 15'-3.3/8" difiere muy poco de la analizada que tiene tan solo 3.5" de adicionales en su longitud. A efectos de uniformizar la adquisición, seleccionaremos todas las vigas de nuestra plataforma conforme a la arriba diseñada.

### Cálculo de las Columnas

En el acápite anterior calculamos que las reacciones en cada extremo de las vigas diseñadas alcanzaban:

$$V_r = 2,306 \text{ lbs}$$

Como, van a existir 4 niveles de plataformas, entonces existirán, (en el caso extremo-condición de diseño) ocho reacciones que ejercerán simultáneamente una fuerza de compresión total sobre la columna del eje "C" :

$$V_{rt} = 2,306 \times 8 = 18,448 \text{ lbs.}$$

Asimismo, de acuerdo a nuestro bosquejo preliminar, la columna deberá tener una longitud total de 35 pies aproximadamente.

#### Criterio de diseño por máximo esfuerzo permisible.-

Asumiendo un condición de diseño de  $K=1$ , entonces  $KL = 35$  pies,

Utilizando las tablas 3-21 a 3-52, Seleccionamos la Viga W8 x 58, que con sus 64,000 lbs de capacidad de carga disponibles, es lo suficientemente adecuado para soportar las cargas de diseño (=18,448 lbs).

Se optó por no seleccionar otro perfil de menor peralte por no recomendar las propias tablas de la AISC, y por propia seguridad de la estructura, que a juicio de diseñadores experimentados, es bastante alta, con respecto a la anchura de la misma.

Al igual que en caso de las vigas normalizamos la selección de las columnas a la arriba diseñada:

Columnas: Usar W8 x 58

- Finalmente chequearemos el espesor de las placas de soporte de las columnas a los pedestales de concreto (Pag 3-106) :

Para la columna calculada: W8 x 58:

$$d = 8.75 \text{ pulg}$$

$$b_f = 8.22 \text{ pulg}$$

Asumiendo una plancha base de 12" x 12",

$$f_p = 18,448 \div 144 = 128.11 \text{ lbs/pulg}^2$$

$$F_y = 36,000$$

$$m = 1.625 \text{ pulg}, \quad y \quad n = 1.89 \text{ pulg}$$

Por tanto de la fórmula:

$$t_p = 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

$$t_p = 2 \times 1.89 \times \sqrt{(128.11/36000)}$$

$$t_p = 0.225 \text{ pulg.}$$

Observamos sin embargo que este resultado implica un espesor de plancha de 1/4", que es muy reducido, así que utilizaremos, para efectos reales de selección plancha de 1/2".

- Los arriostres que se mencionaron en el cálculo de las vigas serán fabricados a partir de ángulos de 2 x 2 x 3/16" ,que es muy usado para este tipo de servicio

Se utilizarán asimismo, parrillas metálicas tipo Fania con platinas de 1" x 3/16" y fierro rdo. liso de 3/8".

Se utilizarán asimismo barandas con tubos de 1.1/4" y guarda-pie de 4"x1/4",

Finalmente se utilizarán 4 (cuatro) escaleras para acceder a los diferentes niveles conforme se muestra en el plano TE-02.

A continuación en la siguiente tabla, resumiremos la lista de materiales que constituirán la estructura plataforma analizada en el presente acápite:

## Lista de materiales Estructura Plataforma

Descripción	Lateral No1	Lateral No2	Total Cant	Und	Peso Unit	Peso Total
Estr. Principal						
Vigas W4 x 13	298	298	596	pies	13	7,748
Columnas W8 x 58	210	210	420	pies	58	24,360
PL 1/2"	6	6	12	pies2	20.39	245
Ang.2 x 3/16"	528	528	1,056	pies	2.44	2,577
Pisos						
Canal 3" x 4.1	157	157.44	315	pies	4.1	1,291
Parrillas 1x3/16"	516	516.4032	1,033	pies2	9.4	9,708
Escaleras						
Canal 4 x 5.4	76	76	152	pies	5.4	821
Pasos FAMIA PE-1	152	152	304	und	13	3,952
Barandas						
Tubo 1.1/4" std	420	420	840	pies	2.27	1,907
Plat 4" x 1/4"	160	160	320	pies	3.4	1,088
Elementos menores no prvistos ( 10% )						5,370
Gran total estructuras plataforma						59,066 lbs



## CAPITULO 6

### PLANEAMIENTO DEL PROYECTO Y MONTAJE DE LA UNIDAD COMPLETA

Como se mencionó en el prólogo, en el capítulo presente desarrollaremos el tema del planeamiento del proyecto en su conjunto y el montaje de nuestro Generador de Vapor a ejecutarse en la Planta Térmica de San Nicolás. Esta última fase del Proyecto de la nueva caldera consistirá en el montaje, instalación y armado de todos los elementos que constituyen la unidad generadora de vapor tales como las paredes del hogar, el banco de tubos del sobrecalentador, el banco de tubos del evaporador, el del economizador, etc., trabajos que se ejecutarán en el lugar donde operará definitivamente la unidad, es decir en la planta térmica de San Nicolás en Marcona. En esta fase del proyecto todos los aparatos y dispositivos diseñados en esta tesis (y fabricados en una determinada fábrica especializada) se armarán e instalarán en sus correspondientes ubicaciones según se encuentra esquematizado en el Plano Nro. TE-01. Importante es asimismo precisar que el conjunto conforme vaya siendo montado será sometido a ciertas pruebas necesarias para verificar la correctitud de la labor de montaje.

Llegado a este punto es importante precisar ciertos conceptos respecto de la fabricación de los componentes más importantes de una unidad generadora de vapor de las características y especificaciones similares a las del presente proyecto (Producción de Vapor sobrecalentado = 190,000 lb-hr á 905°F y 865 psig).

Por ejemplo los tubos tanto del banco del sobrecalentador, banco principal, paredes del hogar, del economizador y también las planchas de los domos estan hechos a partir de materiales especiales. Como fué calculado en el capítulo 5 entre ellos tenemos al SA-209 T1, SA-211 T11, SA-212 B, SA-515 70, materiales que aún no son producidos por ninguna de las plantas siderúrgicas nacionales. Además las estrictas recomendaciones que la ASME precisa para el proceso del conformado de los tubos y las tolerancias estrictas que son especificadas en su código respecto de la fabricación de calderas acuotubulares, no son garantizadas por las plantas laminadoras instaladas en nuestro país. Por otro lado el conformado de los domos del caldero que como fué detallado en el Cuadro Nro. 6 del capítulo 5 deben estar fabricadas a partir de planchas de hasta 1-3/4" en el caso del cilindro y de 3-1/4" en el caso de las tapas requieren talleres ó maestranzas que deben contar con rolas de gran capacidad y prensas de hasta 8,500 toneladas de capacidad, equipos con los que no cuenta ninguno de nuestros talleres ó maestranzas instaladas en el País.

Todo lo expuesto nos conduce a la conclusión que para las

condiciones del actual desarrollo tecnológico nacional aún no es posible fabricar en el Perú los más importantes componentes de una caldera acuotubular de la capacidad y características que requiere por ejemplo el presente proyecto. Indudablemente esto está estrechamente ligado a las fluctuantes é inciertas coyunturas por las que atravesó nuestro desarrollo económico en los últimos 30 años así como de nuestra vieja y obsoleta legislación en materia energética que no permitió ampliar las necesidades de inversión en plantas mineras, industriales ó agroindustriales con la consiguientes inversiones de capital para la producción de energía que hubiesen involucrado necesariamente una apreciable demanda en calderas de gran capacidad, esto último habría tenido el efecto de generar interés en el empresariado privado por invertir y desarrollar la tecnología correspondiente que estamos comentando. Felizmente esto ha sido rectificado por el actual gobierno y se han tomado medidas bastante serias en la materia, por lo que se espera en el mediano plazo un resurgimiento de las inversiones en diferentes sectores. El Perú deberá estar entonces preparado para sostener adecuadamente las futuras demandas de energía que aquello implique.

Contrariamente a lo sucedido en nuestro país, en Colombia, sin embargo si se ha desarrollado una importante tecnología en el campo de las calderas acuotubulares de gran producción. Por ejemplo DISTRAL S.A., (empresa

colombiana que ha sido mencionada en repetidas ocasiones a lo largo del presente trabajo por haberme suministrado información técnica), con el apoyo de la mundialmente reconocida "COMBUSTION ENGINEERING CO" es una empresa que fabrica calderas acuotubulares de gran producción, posee siderúrgicas y maestranzas con la tecnología adecuada para la fabricación de las importantes partes de un caldero acuotubular.

Resumiendo entonces la parte que corresponde a la fabricación de los elementos, dispositivos y/o aparatos importantes que constituyen la unidad generadora de vapor no pueden ser ejecutados en nuestro país, sugiriéndose para el caso recurrir a un país cercano al nuestro como Colombia que si cuenta con un mayor y adecuado desarrollo tecnológico en este campo. En el capítulo relativo a costos que se desarrollará más adelante utilizaremos información colombiana con la que se podrá determinar el costo de suministro y fabricación de las partes de nuestro Generador de Vapor.

Desarrollaremos por tanto, en forma detallada el aspecto relativo al montaje é instalación de la caldera, que si es factible ser ejecutada a través de empresas nacionales especializadas que existen en nuestro medio, que si cuentan con la tecnología adecuada para tal fin.

La determinación correcta de los volúmenes de "Obra"

y el tipo y cantidad de actividades involucradas en el conjunto de la Operación del Montaje de la Unidad será por tanto desarrollada, ya que es a partir de esta información que se desarrollarán los diversos tópicos que involucra el presente capítulo.

Asimismo dado que la Mano de Obra ó lo que es lo mismo la cantidad de personal requerido para ejecutar el montaje está estrechamente ligado a la programación de las actividades, la cantidad de Horas-hombre necesarias para la ejecución del "Trabajo de Obra serán determinadas en el presente capítulo.

#### 6.1 Volúmenes de Obra.-

Ya sea una "Obra" , de tipo civil, (edificaciones, carreteras, movimientos de tierras) de tipo eléctrica ó mecánica como es nuestro caso, lo primero que se deben establecer para efectuar el planeamiento de la ejecución de la obra, son los "**Volúmenes**" ó metrados a ejecutar. Estos volúmenes a que hacemos referencia se traducen en metros cúbicos de movimientos de tierra, metros cúbicos de concreto a vacear, los metros de tubos a instalar, número de banco de tubos a montar, kilos de estructuras, equipos ó tuberías a montar, metros cuadrados a pintar , etc. Es en base a estos volúmenes de obra que se determinarán los lapsos de tiempo que demandará la ejecución de la



principales actividades así como las horas hombre requeridas para el cumplimiento de las mismas.

En el Cuadro Nº 8 siguiente entonces detallamos el cálculo de los volúmenes de obra para el caso específico del montaje del generador de vapor, materia de este proyecto.

## CUADRO No 8

## VOLUMENES DE OBRA

## MONTAJE CALDERA ACUOTUBULAR HIERRO-PERU

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	O.D. Pulg.	ESPESOR Pulg.	LONG. Pies	Lbs/und.	CANT.	UND.	PESOS PARCIALES Lbs	PESOS TOTALES Lbs
01.	DOMO VAPOR									
01.1	Envolvente	SA-515 Gr 70	60	1.750	17.33	19,414	1	und	19,414	
01.2	Cabezas elípticas	SA-515 Gr 70	60	3.250		5,200	2	und	10,400	
01.3	Internos	C.S.				5,000	1	set	5,000	
01.4	Conexiones	C.S.				1,400	1	set	1,400	
01.5	Soportes misceláneos	C.S.				2,000	1	set	2,000	
		TOTAL ITEM 01.								38,214
02.	DOMO LODOS									
02.1	Envolvente	SA-515 Gr 70	36	1.125	17.33	7,488	1	und	7,488	
02.2	Cabezas elípticas	SA-515 Gr 70	36	2.000		1,200	2	und	2,400	
02.3	Conexiones	C.S.				800	1	set	800	
02.4	Soportes misceláneos	C.S.				1,800	1	set	1,800	
		TOTAL ITEM 02.								12,488
03.	HOGAR									
03.1	Paredes	SA-178 Gr.A	5	0.280	300	14.620	309	pies	4,518	
03.2	Paredes	SA-178 Gr.A	4	0.280	300	9.110	309	pies	2,815	
03.3	Furnace tubes	SA-178 Gr.A	3	0.150	12,450	6.153	12,824	pies	78,903	
03.4	Banco principal	SA-178 Gr.A	2	0.150	15,400	3.653	15,862	pies	57,944	
03.5	Cabezales	SA-106 Gr.B	8.63	0.322	100	28.550	103	pies	2,941	
03.6	Aletas	C.S.	1	0.250	12,500	0.850	12,875	pies	10,944	
03.7	Accesorios	C.S.				800	1	set	800	
03.8	Cinturones/tirantes	C.S.				12,000	1	set	12,000	
03.9	Puertas de acceso	C.S.				13,000	1	set	13,000	
		TOTAL ITEM 03.								183,865
04.	SOBRECALENTADOR									
04.1	Tubo (Bco. primario)	SA-209 T1	2.125	0.120	4,900	2.815	5,047	pies	14,207	
04.2	Tubo (Bco. secund. )	SA-213 T11	2.125	0.095	5,600	2.320	5,768	pies	13,382	
04.3	Tubo (Enlace)	SA-178 Gr.A	4.000	0.240	200	10.939	206	pies	2,253	
04.4	Cabezal entrada	SA-106 Gr.B	10.750	0.500	15	54.740	15	pies	821	
04.5	Cabezal salida	SA-106 Gr.B	10.750	0.500	15	54.740	15	pies	821	

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	O.D. Pulg.	ESPEJOR Pulg.	LONG. Pies	Lbs/und.	CANT.	UND.	PESOS PARCIALES Lbs	PESOS TOTALES Lbs
04.6	Cabezal intermedio	SA-106 Gr.B	10.750	0.500	15	54.740	15	pies	821	
04.7	Cabezal entrada	SA-106 Gr.B	10.750	0.500	15	54.740	15	pies	821	
04.8	Cabezal salida	SA-335 P11	10.750	0.500	15	54.740	15	pies	821	
04.9	Accesorios	C.S.				600	1	set	600	
04.10	Atemperador					500	1	set	500	
TOTAL ITEM 04.										35,047
05.	CALENTADOR DE AIRE									
	Calentador LJUNSTROM	Mod. 16 1/2 - HKX - 35 1/2				90,000	1	set	90,000	
TOTAL ITEM 05.										90,000
06.	ECONOMIZADOR									
06.1	Tubo	SA-178 Gr.A	2.000	0.109	450	2.503	464	pies	1,161	
06.2	Cabezal entrada	SA-106 Gr.B	6.625	0.280	15	18.970	15	pies	285	
06.3	Cabezal salida	SA-106 Gr.B	6.625	0.280	15	18.970	15	pies	285	
TOTAL ITEM 06.										1,731
07.	CASING - WINDBOX	C.S.					1	set	6,510	6,510
08.	LAGGING O CUBIERTAS EXTERIORES	Aluminio					1	set	2,700	2,700
09.	DUCTOS DE AIRE									
09.1	DUCTOS DE PL. 1/4"	C.S.				24,000	1	set	24,000	
09.2	PERFILES DE REFUERZO	A - 36				12,000	1	set	12,000	
TOTAL ITEM 09.										36,000
10.	REFRACTARIOS						1	set	15,000	15,000
11.	AISLAMIENTO									
11.1	4-1/2" espesor	Lana mineral	4.5		500	3.2	550	pies2	1,760	
11.2	3" espesor	Lana mineral	3		4,500	2.5	4,950	pies2	12,375	
11.3	2-1/2" espesor	Lana mineral	3.5		3,000	2.2	3,300	pies2	7,260	
TOTAL ITEM 11.										21,395

ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	O.D. Pulg.	ESPEJOR Pulg.	LONG. Pies	Lbs/und.	CANT.	UND.	PESOS PARCIALES Lbs	PESOS TOTALES Lbs
12.	ESTRUCTURAS DE PLATAFORMAS DE ACCESO	A - 36				59,066	1	set	59,066	59,066
13.	SOPLADORES DE HOLLIN									
13.1	Rotatorios eléctricos					1000	2	set	2,000	
13.2	Retractables eléctricos					1500	1	set	1,500	
	TOTAL ITEM 13.									3,500
14.	DISPOSITIVOS Y EQUIPOS DE CONTROL									
14.1	Controles electrónicos seguridad de llama					6,000	1	set	6,000	
14.2	Tableros y dispositivos interconexión					500	1	set	500	
14.3	Tablero secuencial					300	1	set	300	
14.4	Válvula reductora					600	1	set	600	
14.5	Válvulas de drenaje					600	1	set	600	
14.1	Equipos de combustión					9,100	1	set	9,100	
	TOTAL ITEM 14.									17,100
15.	VENTILADOR TIRO FORZADO									
15.1	Unidad de ventilador de tiro forzado					16,000	1	set	16,000	
15.2	Bloque motor/reductor/acople					3,150	1	set	3,150	
	TOTAL ITEM 15.									19,150
16.	Tuberías y válvulas exteriores para interconexión	SA-106 Gr.B	10.75	0.5		54.74	160	pies	8,758	8,758
TOTAL VOLUMEN EN LIBRAS									550,524	

Como se puede apreciar en el cuadro que se explica por si solo, hemos detallado los aparatos, equipos y/o accesorios que conforman nuestra caldera. Luego utilizando información determinada en el diseño mecánico é información disponible en cualquier manual de materiales hemos calculado los correspondientes pesos de cada accesorio, dispositivo ó equipo que en suma constituyen un total de 550,224 libras (=250.2 tons.) a montar.

Este peso total a montar es el peso "nuevo" que constituirá la caldera "nueva". No obstante, como se mencionó en la introducción, la filosofía de este proyecto es el de reemplazar la caldera N°1 existente que se halla inoperativa y deteriorada (Ver Ilustración N°7) por una nueva caldera que ha sido diseñada en la presente Tesis. Es decir las labores de "Obra" deberán incluir también la labor de desmontaje de la actual caldera N°1 ,la demolición de las bases ó cimientos de concreto actuales que, se hallan seriamente deterioradas (Ver Ilustración N°6) y la construcción de nuevas bases. Podemos resumir las grandes etapas o fases que constituirá el montaje de la nueva caldera del modo siguiente:

- 1.- Desmontaje caldera existente.
- 2.- Demolición bases de concreto actuales y  
Construcción de nuevas bases de concreto.
- 3.- Montaje de la nueva caldera.
- 4.- Pruebas y puesta en marcha.



6.2.- Horas - hombre requeridas para el Montaje de la Caldera (Cálculo de duraciones).-

Definidos los "Volúmenes de Obra" que constituirán la Obra de Montaje de la Caldera, y también estando claras las principales actividades que constituirán esta "Obra", entonces ahora podemos desarrollar la asignación de recursos que serán requeridos para la ejecución de las actividades correspondientes.

Primeramente estableceremos las horas hombre requeridas, las cuadrilla correspondientes y finalmente la duración estimada para cada actividad característica del proceso de montaje de nuestra caldera (de aquí en adelante cuando precisemos "montaje de la caldera" nos estaremos refiriendo a las 4 fases principales definidas líneas arriba). En el siguiente Cuadro Nº9 desarrollaremos el cálculo mencionado.

## CUADRO No 9

## ESTIMACION HORAS HOMBRE Y DURACION DE ACTIVIDADES

## MONTAJE CALDERA ACUOTUBULAR HIERRO-PERU

ITEM	DESCRIPCION	Tipo	METRADO		RATIO RENDIM. KG/HH	TOTAL H-H	Nro. Obreros	Nro. Dias
			libras	kilos				
I.- Desmontaje caldera existente								
=====								
1.1	Remoción ó retiro caldera existente EST			300,000	45.0	6,667	15	44
II.- Obras civiles preliminares (ver anexo 9.a)								
=====								
2.1	Demolición bases actuales					1,005	6	17
2.2	Construcción nuevas bases					2,300	8	29
III.- Montaje de la nueva caldera								
=====								
3.1	Estructura provisonal mtje. domos	EST		15,000	6.0	2,500	12	21
3.2	Montaje domo vapor - superior	CAL	38,214	17,370	8.0	2,171	8	27
3.3	Montaje domo lodos - inferior	CAL	12,488	5,676	10.0	568	8	7
3.4	Banco principal	CAL	57,944	26,338	2.0	13,169	18	73
3.5	Paredes del hogar	CAL	113,921	51,782	4.0	12,946	24	54
3.6	Cinturones y tirantes	CAL	12,000	5,455	3.0	1,818		30
3.7	Sobrecalentador	CAL	35,047	15,930	4.0	3,983	12	33
3.8	Internos del tambor	EST		200	1.0	200	3	7
3.9	Ductos de aire y gases	CAL	36,000	16,364	6.0	2,727	6	45
3.10	Calentador Ljunstrom	CAL	90,000	40,909	25.0	1,636	8	20
3.11	Banco del economizador	CAL	1,731	787	4.0	197	4	5
3.12	Refractarios	CAL	15,000	6,818	15.0	455	5	9
3.13	Aislamiento	CAL	21,395	9,725	11.0	884	6	15
3.14	Lagging ó Cubiertas exteriores	CAL	2,700	1,227	2.0	614	6	10
3.15	Casing & Windbox	CAL	6,510	2,959	5.0	592	6	10
3.16	Disposit. & equip. control de llama	CAL	17,100	7,773	6.0	1,295	8	16
3.17	Sopladores de hollín	CAL	3,500	1,591	8.0	199	4	5

ITEM	DESCRIPCION	Tipo	METRADO		RATIO RENDIM. KG/HH	TOTAL H-H	Nro. Obreros	Nro. Días
			libras	kilos				
3.18	Ventilador de tiro forzado	CAL	19,150	8,705	15.0	580	8	7
3.19	Tuberías exteriores	CAL	8,758	3,981	3.5	1,137	6	19
3.20	Estructuras plataformas de acceso	CAL	59,066	26,848	10.1	2,663	8	33
3.21	Instalaciones eléctricas	G L O B A L				3,200	8	40
IV.- Pruebas y puesta en marcha								
=====								
4.1	Pruebas hidrostáticas	G L O B A L				480	6	8
4.2	Pruebas de hermeticidad	G L O B A L				480	6	8
4.3	Hervido y primer vapor	G L O B A L				720	6	12
4.4	Pintura	G L O B A L				720	4	18
4.5	Operación comercial	G L O B A L				1,200	6	20
=====								
			550,524	565,438		67,105		
=====								

## TIPO DE METRADO

EST = ESTIMADO

CAL = CALCULADO

En este cuadro, primeramente en el lado izquierdo detallamos la relación de actividades ó principales partidas que comprenden cada una de las cuatro fases del proyecto. A continuación trasladamos los metrados de obra ya calculados en el Cuadro Nº 8 con la identificación del "tipo" de este metrado, es decir si fué calculado con el cuadro Nº8 ó si es estimado.

Por ejemplo, el estimado de los kilos totales a desmontar fué obtenido en la planta de San Nicolás y es un estimado de un "viejo supervisor" de la planta que me confirmó haber participado en el montaje de dicha unidad, y como se puede apreciar las 300 ton. estimadas exceden a las 250.2 ton calculadas en esta Tesis. Quizás aquel estimado este exagerado pero lo asumiremos a efectos del cálculo de las Horas-Hombre.

También, en la lista de partidas del montaje de la nueva caldera hemos incluido el de una estructura provisional para el montaje de los domos, como lo explicaremos más adelante es necesaria la erección de esta estructura a efectos de poder montar los domos de la caldera, que necesitarán de una estructura portante provisional hasta que se logre montar los tubos del banco principal del evaporador.

Luego hemos asociado a cada partida un RATIO ó rendimiento traducido en "Kilogramos/Hora-hombre" ó en genral "Unid/HH", relación que nos permitió determinar las H-H necesarias para la ejecución de cada una de las

actividades. Estos ratios son el producto de la experiencia en la ejecución de trabajos similares realizado por empresas contratistas especializadas y para el caso de la presente TESIS estos me fueron suministrados por COSAPI S.A., empresa de reconocido prestigio y lider en la ejecución de este tipo de proyectos.

Determinadas las Horas-hombre , a continuación establecemos las "cuadrillas típicas" de personal obrero para la ejecución de cada actividad, luego de lo cual se obtiene la duración de la actividad en cuestión, que es el dato que necesitamos para el cálculo de la duración total del proyecto, a través de un CPM.

En cuanto a las dos actividades de obras civiles que aparecen el Cuadro N°9 resumidos, y que son: La demolición de las actuales bases de concreto y la Construcción de las nuevas bases, he preferido desarrollar los cálculos en un anexo separado al Cuadro N°9 ; En el Anexo 9.a podemos apreciar entonces la relación de partidas que hemos estimado serán necesarias para la ejecución de estas dos actividades. Debo precisar que los metrados aquí establecidos me fueron suministrados por DISTRAL S.A en base a proyectos similares por ellos ejecutados. Asimismo es común en la práctica de la construcción de obras civiles mostrar los RATIOS en Horas hombre / Unidad a inversa que en las obras de montaje.



## ANEXO 9.a

DETALLE  
ESTIMACION METRADOS Y HORAS HOMBRE OBRAS CIVILES

ITEM	DESCRIPCION	Und	Metrado	Ratio Rendimiento HH/Und	TOTAL H-H	Nro. Obreros	Nro. Días
2.1	Demolición bases de concreto actuales =====						
2.1.1	Demolición losas de pavimento	M3	90.0	4.5	405.00		
2.1.2	Demolición concreto de fundaci	M3	100.0	6	600.00		
	Subtotal demoliciones				1005	6	17
2.2	Construcción nuevas bases de concreto =====						
	A. Bases de la nueva caldera -----						
2.2.1	Excavación combinada fundacion	M3	41.0	3	123.00		
2.2.2	Acarreo de sobrantes	M3	351.0	0.5	175.50		
2.2.3	Relleno con material seleccion	M3	61.0	1.4	85.40		
2.2.4	Concreto pobre 2,000 psi (ceme	M3	7.0	1.1	7.70		
2.2.5	Concreto para fundaciones 3000	M3	41.0	7	287.00		
2.2.6	Acero de refuerzo para fundaci	KG	4,100.0	0.1	410.00		
2.2.7	Pernos de anclaje	KG	179.0	0.4	71.60		
2.2.8	Grouting sin retracción de fra	LT	292.0	1.1	321.20		
2.2.9	Concreto losa de piso 3000 psi	M3	12.0	7.2	86.40		
2.2.10	Encofrados	M2	206.0	1.8	370.80		
	B. Bases de Estructuras de plataforma -----						
2.3.1	Excavación combinada fundacion	M3	15.0	3	45.00		
2.3.2	Acarreo de sobrantes	M3	20.0	0.5	10.00		
2.3.3	Relleno con material seleccion	M3	8.0	1.4	11.20		
2.3.4	Concreto pobre 2000 psi (cemen	M3	2.0	1.1	2.20		
2.3.5	Concreto para fundaciones 3000	M3	8.0	7	56.00		
2.3.6	Acero de refuerzo - fundacione	KG	770.0	0.1	77.00		
2.3.7	Pernos de anclaje	KG	400.0	0.4	160.00		
2.3.8	Grouting mortero común (sin ad	M3	0.2	1.1	0.22		
	Subtotal bases de concreto				2,300.2	8	29

Llegado a este punto hemos calculado entonces tres resultados importantes en la concepción de todo proyecto:

- 1.- Los volúmenes ó metrados de obras
- 2.- Las Horas - hombre y
- 3.- La duración de cada una de las actividades conformantes del proyecto.

### 6.3.- Descripción de la metodología a seguir para el montaje de la caldera (Memoria descriptiva).-

En la ejecución de todo proyecto y en especial cuando este es de especialidad como lo es el Montaje de una Caldera acuotubular, es necesario el disponer de la adecuada tecnología en cuanto a el conocimiento del trabajo (Know-How), los recursos humanos y los equipos y herramientas adecuados. Lo primero significa el conocer tanto la secuencia de las operaciones ó actividades que comprenden la red del proyecto así como los procedimientos adecuados dentro del desarrollo de las actividades propiamente dichas ,(Códigos, normas, etc.), en cuanto a lo segundo, los recursos humanos, sería casi imposible el ejecutar un trabajo de especialidad como éste si es que sus recursos humanos no son lo suficientemente especializados y entrenados en la especialidad (soldadores, maniobristas, etc.), y finalmente en cuanto a los equipos y herramientas, de lo actualizado y operativo con que se dispongan de estos recursos se logrará una mayor celeridad y calidad en el desarrollo de los trabajos.

A continuación entonces desarrollaremos la Memoria Descriptiva que explica ó detalla lo que será el desarrollo de los trabajos de este proyecto, la parte secuencial, la parte técnica, normas, etc. Está demás resaltar la importancia de esta Memoria debido a que será en base a esta que más adelante esbozaremos y plasmaremos la Red CPM del proyecto la cual nos permitirá determinar la Duración y la Ruta Crítica del Proyecto y otros datos y detalles de suma importancia.

### Memoria Descriptiva

Cumplidos los eventos legales (contratos), económicos (monto de la inversión , costos de los suministros y obras) y financieros (fuentes de financiamiento y adelantos de dinero) que se concreten entre la Entidad Hierro-Perú (Cliente) y la Empresa Contratista seleccionada para ejecutar el suministro , fabricación y la montaje de la Caldera (Contratista), el Contratista procederá con iniciar el Desarrollo de la Ingeniería Definitiva de esta caldera siguiendo el marco de conceptos aquí desarrollados. Concluida la ingeniería a nivel de detalle inclusive , a continuación iniciará la adquisición de los materiales para la posterior fabricación de los elementos, dispositivos, mecanismos y partes de que consta la unidad, también colocará las órdenes de compra necesarias para adquirir los materiales , equipos y/o

accesorios que por su caracter de items de especialidad solo son fabricados por firmas especializadas. Dependiendo de la envergadura de la caldera los tiempos estimados para las tres grandes fases aquí mencionadas podrían enmarcarse dentro de los siguientes rangos:

<u>Descripción</u>	<u>Lapso de tiempo</u>
Desarrollo ingeniería definitiva	De 1 a 8 meses
Procura y suministro de materiales	De 2 a 10 meses
Fabricaciones	De 3 a 8 meses

Siendo los lapsos de tiempo menores para calderas de baja capacidad (20,000 lb/hr de producción) y los lapsos mayores para las de gran producción (=250,000 lb/hr) que es donde se encuadra nuestra caldera.

Sin embargo, será posible el establecer prioridades en el proceso de fabricación de las partes constituyentes de la caldera a efectos que las entregas parciales de los elementos fabricados puedan ser enviadas y montadas en el lugar de la obra siguiendo un lógico criterio de erección.

Por ejemplo se deberán priorizar las fabricaciones de los domos, y del banco de tubos principales, ya que estos serán los primeros elementos en ser instalados y los que demandarán una apreciable cantidad de tiempo en su ejecución como veremos más adelante.

Siempre será posibles entonces, traslapar el

desarrollo de actividades secuenciales de manera de optimizar el cálculo de la duración total del proyecto. Reiterando, se puede iniciar el montaje de la caldera aún cuando no se haya terminado totalmente el proceso de fabricación de la caldera.

Entonces La Procura y el Suministro de materiales así como la fabricación de las partes de la caldera seguirán un plan de prioridades según el criterio de la erección lógica del montaje de la caldera que en forma general a continuación detallamos:

1.- Primero se montarán los domos superior é inferior.

Dado que en aún no existirían los medios de apoyo definitivo para el domo superior (que pesa cerca a 20 ton.) será necesario el fabricar y montar previamente una estructura de acero provisional que ayudará al izaje de este domo hasta su altura definitiva (unos 12 mts.) y el posterior sostenimiento del peso propio del domo hasta que se haya terminado con el montaje del banco principal . El subsiguiente montaje del domo inferior no representará mayor problema (peso 6 ton.) y la maniobra será apoyada por una grua sobre camión de 18 ton. más la grua torre que desde el inicio de las obras se dispondrán en el lugar de la obra.

Paralelamente asimismo, será muy importante el montar



las plataformas parciales y escaleras de accesos exteriores que ayudarán de modo decisivo a que los trabajos de montaje se ejecutemente fluidamente.

- 2.- Seguidamente se procederá con iniciar el montaje del banco principal de tubos evaporadores de la caldera que estructuralmente servirán con sus cerca de 550 tubos como un efectivo medio de soporte del domo superior transmitiendo su peso al domo inferior y de este a la fundación de concreto previamente construída. Esto conforme al modelo de caldera escogido para el presente proyecto, ya que existen calderas que son soportadas mediante el domo superior lo cual requiere de enormes estructuras de acero ó de concreto según el diseño escogido.

Los tubos vendrán de fábrica casi en su medida exacta (alto costo del material) y marcados según su posición longitudinal y radial en relación a los domos. Esto es muy importante y siempre deberá ser tomado en cuenta por el montador.

Los tubos de este banco son acoplados tanto al domo superior como al domo inferior siguiendo la técnica del expandado de los tubos dentro de la pared de los domos. Esta técnica exige personal muy capacitado y con gran destreza en este tipo de trabajos, se requerirá asimismo de una supervisión muy calificada

para el chequeo de la correctitud de esta actividad. Importante rol también desempeñarán las herramientas que deberán ser las más apropiadas y modernas que este trabajo exige.

3.- Será importante y necesario el constantemente verificar y chequear las distancias entre ejes, las alturas y las luces ú holguras que manden los planos, ya que del correcto proceso de medición y ajuste dependerá una satisfactoria calidad de la labor de montaje ejecutada.

4.- Seguidamente se procederá con instalar las paredes laterales compuesta por un panel de tubos aleteados, a continuación se proseguirá con el montaje de las paredes frontal, trasera y del screen. Estos trabajos de montaje serán ejecutados utilizando fundamentalmente la grua torre que desde el inicio deberá instalar el contratista en obra.

5.- Antes de cerrar completamente el hogar de la caldera con las Paredes, se deberán introducir los bancos de tubos del sobrecalentador. Es importante resaltar que los trabajos de soldadura en las paredes del hogar cercanos a la posición del sobrecalentador, deberán haberse concluído en su totalidad para evitar daños a los tubos del sobrecalentador.

Los bancos de tubos normalmente vienen de fábrica de

modo tal que en campo solo se tengan que soldar los empalmes con lo ñiples de ingreso a colectores, trabajo este extremadamente delicado y de gran importancia, que exigirá la presencia de muy calificados soldadores expertos en la materia, ya que estos cordones serán los que estarán sometidos a las más altas condiciones de presión y temperatura.

- 6.- En forma casi similar al montaje del sobrecalentador se ejecutará el montaje del economizador y de los tubos alimentadores y elevadores.
- 7.- Culminados los trabajos del montaje de las partes presión a continuación se procederá con efectuar una Prueba Hidrostática de todo este sistema. Esta Prueba deberá ceñirse en todo momento a las pautas que el código ASME exige se cumplan estrictamente en esta actividad específica.

El objeto de esta prueba es el de verificar la correctitud de los trabajos de empalmes de tubos domos, a otros tubos, a colectores, ya sea por el proceso de expandado ó el de soldadura hecho durante los trabajos de montaje. Esto, muy aparte claro está, de que los mismos trabajos de soldadura ó expandado hallan sido minuciosamente analizados utilizando la técnica del magnaflux, ultrasonido, rayos "x" ó gamma que la norma ASME precise para cada uno de los tipos

de empalmes ejecutados durante el proceso de montaje de la caldera, con anterioridad a esta prueba.

Cumplidos satisfactoriamente los resultados esperados según el código, recién se podrá continuar con el proceso de montaje de la caldera. De lo contrario se deberán tomar todas las medidas correctivas necesarias que el mismo código precise hasta que se obtengan los mínimos resultados esperados.

8.- A continuación se proseguirá con la colocación de todos los sellos del hogar, los quemadores, los cinturones, los refractarios, las cubiertas, los sopladores de hollín, las puertas y mirillas, sin colocar aún el aislamiento exterior.

9.- Se procederá asimismo con montar los ductos de ingreso de aire fresco, los ductos de gases y también se podrá instalar el ventilador de tiro forzado pero sin interconectar al ducto de aire fresco (se provisionará una tapa ciega provisional), no se colocará aún el aislamiento externo.

10.- También se instalarán los tubos de interconexión a planta existente (sin interconectar aún) con bridas ciegas colocadas en los extremos.

11.- Culminadas las actividades involucradas dentro de los

items 8,9 y 10 arriba señalados se procederá con otra importante Prueba. Esta es la Prueba de Hermeticidad y exigirá también ceñirse a lo estipulado por el código ASME en su correspondiente artículo. Esta prueba corroborará el que el ambiente del hogar de la caldera y anexos esté cerrado con un grado de hermeticidad adecuado a efectos de evitar sopladuras externas y el ingreso excesivo de aire falso que pondría en riesgo la operación y la eficiencia de la caldera respectivamente.

12.- Cumplida satisfactoriamente la prueba de hermeticidad, seguidamente se procederán con los trabajos de colocación del aislamiento exterior, la colocación de instrumentos, y demás aparatos y accesorios delicados cuyas instalaciones se dejan solo hasta el final de los trabajos.

13.- Culminadas las todas las actividades arriba señaladas finalmente se interconectarán los tubos de vapor y de agua de alimentación a la caldera, las líneas de petróleo, los químicos del tambor, se culminará con la provisión de energía eléctrica para el ventilador de tiro forzado, sopladores, etc. de modo tal de iniciar la Operación de la Unidad que se iniciará con el Hervido de la Caldera, El Primer Vapor, y finalmente la Operación Comercial.



6.4.- Diagrama lógico de la secuencia de actividades - Red "CPM".-

Lo expuesto en los acápites anteriores nos servirá para esbozar y trazar la Red de la secuencia de actividades que conformarán el proyecto de esta Caldera. Para trazar una red primero es necesario listar las actividades que constituirán la red, la duración, y la precedencia ó sucesión, a efectos de "amarrar" la red y establecer la duración total del proyecto y las rutas críticas.

A continuación en el Cuadro N°10 detallamos la lista de todas las actividades ( nótese que utilizamos activamente los cuadros N° 9 y 9a) las duraciones que fueron calculados previamente y las precedencias utilizando los conceptos de la memoria descriptiva.

La codificación de las actividades ó IDENTIFICADOR está conformada en dos partes, la primera compuesta por las dos primeras letras que sirven para identificar la característica de la actividad, según sea:

CO	Contractual
IC	Desarrollo de ingeniería
MA	Procura ó adquisición de materiales
DP	Despacho y transporte de partes de la caldera.
MO	Montaje de la caldera en Marcona

## Cuadro N° 10

## LISTADO DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

## MONTAJE CALDERA ACUOTUBULAR HIERRO-PERU

ACTIVIDAD	DESCRIPCION ACTIVIDAD	DURACION **Dias**	RELACION C/OTRAS ACTIVIDADES	
			SUCESORES	PREDECESORES
CD00	Inicio del contrato	0.0	IC0102 IC0106 IC0107 MD0201	IC0113 IC0109 IC0110
INGENIERIA =====				
IC0102	Disposición general	20.0	IC0103	CD00
IC0103	Aprobación disposición general	10.0	IC0104 IC0111	IC0105 IC0102
IC0104	Diagrama de flujo	20.0	IC0106 IC0107	IC0103
IC0105	Fundaciones y bases	30.0	MD0203	IC0103
IC0106	Domos y banco principal	15.0	MA0201 FB0201	CD00
IC0107	Resto de partes a presión	25.0	MA0202 FB0202	CD00
IC0108	Planos generales de obra	20.0	IC0111	IC0103 IC0107 IC0106
IC0109	Diseño específico resto de partes	80.0	MA0203 MA0204 MA0205 MA0206	MA0208 MA0209 MA0213 MA0214 CD00 IC0108
IC0110	Aislamientos	15.0	MA0207	CD00
IC0111	Instrumentación	30.0	MA0210	IC0103 IC0108
IC0112	Instalaciones eléctricas	40.0	MA0211	IC0103 IC0108
IC0113	Sistema de seguridad de llama	30.0	MA0212	IC0103 IC0108

ACTIVIDAD	DESCRIPCION ACTIVIDAD	DURACION **Días**	RELACION C/OTRAS ACTIVIDADES	
			SUCESORES	PREDECESORES
<b>MATERIALES o PROCURA</b> =====				
MA0201	Domos y banco principal	120.0	FB0201	IC0106
MA0202	Resto de partes a presión	100.0	FB0202	IC0107
MA0203	Internos del tambor	80.0	FB0204	IC0109
MA0204	Sellos del hogar	80.0	FB0206	IC0109
MA0205	Calentador Ljunstrom	70.0	FB0203	IC0109
MA0206	Refractarios	70.0	DP02	IC0109
MA0207	Aislamientos	70.0	DP02	IC0110
MA0208	Cubiertas	70.0	FB0205	IC0109
MA0209	Mecánicos misceláneos	100.0	FB0206	IC0109
MA0210	Instrumentación	60.0	DP03	IC0111
MA0211	Instalaciones eléctricas	70.0	DP03	IC0112
MA0212	Sistema de seguridad de llama	80.0	DP03	IC0113
MA0213	Quemadores	90.0	DP02	IC0109
MA0214	Ventilador tiro forzado	100.0	DP02	IC0109
<b>FABRICACION</b> =====				
FB0201	Domos y banco principal	100.0	DP01 FB0204	IC0106 MA0201
FB0202	Resto de partes a presión	110.0	DP01	IC0107 MA0202
FB0203	Calentador Ljunstrom	60.0	DP03	MA0205
FB0204	Internos	20.0	DP01	MA0203
FB0205	Cubiertas	40.0	DP02	MA0208
FB0206	Partes mecánicas misceláneas	90.0	DP02	MA0209

ACTIVIDAD	DESCRIPCION ACTIVIDAD	DURACION **Días**	RELACION C/OTRAS ACTIVIDADES SUCESORES	PREDECESORES
DESPACHO y TRANSPORTE =====				
DP01	Despacho N°1	40.0	MD0205 MD0206 MD0207 MD0208 MD0210 MD0214 MD0211	FB0201 FB0202 FB0204
DP02	Despacho N°2	40.0	MD0215 MD0216 MD0219 MD0221 MD0217 MD0212 MD0209 MD0218 MD0220 MD022 MD0223	FB0205 FB0206 MA0206 MA0207 MA0209 MA0213 MA0214
DP02	Despacho N°3	40.0	MD0219 MD0224 MD0213 MD0227	MA0210 MA0211 MA0212 FB0203
MONTAJE =====				
MD0201	Remoción ó retiro caldera existente	44.0	MD0202	CO00
MD0202	Demolición bases actuales	17.0	MD0203	MD0201
MD0203	Construcción nuevas bases	29.0	MD0204	MD0202 IC0105
MD0204	Estructura provisional mtje. domos	21.0	MD0205	MD0203
MD0205	Montaje domo vapor - superior	27.0	MD0206 MD0225	DP01
MD0206	Montaje domo lodos - inferior	7.0	MD0207 MD0225	DP01
MD0207	Banco principal	73.0	MD0208 MD0225	MD0205 MD0206 DP01
MD0208	Paredes del hogar	54.0	MD0209 MD0226 MD0225	MD0207 DP01
MD0209	Cinturones y tirantes	30.0	MD0217 MD0218	MD0208 DP02
MD0210	Sobrecalentador	33.0	MD0217 MD0225 MD0213	MD0207 DP01
MD0211	Internos del tambor	7.0	MD0215	MD0228
MD0212	Ductos de aire y gases	45.0	MD0226	DP02 MD0208
MD0213	Calentador Ljunstrom	20.0	MD0226	DP03 MD0210 MD0212
MD0214	Banco del economizador	5.0	MD0212	DP01 MD0223 MD0206 MD0208

ACTIVIDAD	DESCRIPCION ACTIVIDAD	DURACION **Dias**	RELACION C/OTRAS ACTIVIDADES	
			SUCESORES	PREDECESORES
M00215	Refractarios	9.0	M00216	DP02 M00225
M00216	Aislamiento	15.0		DP02 M00215 M00226
M00217	Lagging ó Cubiertas exteriores	10.0	M00226	M00225
M00218	Casing & Windbox	10.0	M00226	
M00219	Disposit. & equip. control de llama	16.0		DP03 M00216
M00220	Sopladores de hollin	5.0	M00217	DP02 M00209
M00221	Ventilador de tiro forzado	7.0	M00226	DP02 M00212
M00222	Tuberías exteriores	19.0	M00228	DP02 M00225
M00223	Estructuras plataformas de acceso	33.0	M00217	DP02
M00224	Instalaciones eléctricas	40.0	M00228	DP03 M00216
M00225	Pruebas hidrostáticas	8.0	M00228	
M00226	Pruebas de hermeticidad	8.0		
M00227	Hervido y primer vapor	12.0	M00229	M00225 M00226 M00224 M00219 M00228
M00228	Pintura	18.0		
M00229	Operación comercial	20.0		



y la segunda que indica el número correlativo de la actividad.

Para el cálculo de las holguras , la ruta crítica y el trazado de la red utilizaremos el Software más potente que a la fecha existe: el "PRIMAVERA PROJECT PLANNER SOFTWARE", que es el uno de los más utilizados en el mundo entero por los gerentes de proyectos, los de construcción, y demás especialistas en la materia, debido a su gran versitilidad y flexibilidad en cuanto a su uso, y por ser el que más se presta a proyectos como el que aquí desarrollamos.

Utilizando dicho software en los cuadros siguientes detallamos las holguras, nuevamente las precedencias, las duraciones, y en general toda la información requerida para todas las actividades del proyecto. No creo pertinente explicar la metodología y cálculos aritméticos que se siguen para en los cálculos de una RED CPM, que por cierto son sencillos pero laboriosos, de allí del apoyo requerido en una microcomputadora para calcular una red como la presente que consta de 65 actividades.

Debo resaltar un concepto que si bien no es nuevo, debido a que ya lo había tocado previamente, es importante se tenga claro en el desarrollo del proyecto. Y está relacionado con la forma en que se enfocaría la implementación y el desarrollo de un proyecto al aquí desarrollado. En la práctica sucede en forma frecuente que un proyecto de esta naturaleza se ejecuta utilizando la modalidad de un "CONSORCIO XYZ" conformada por dos empresas ó compañías responsables técnica y legalmente como una sola persona jurídica ante un cliente , en este caso ante Hierro Perú, la primera compañía es la suministradora ó "vendedora" de la tecnología de los equipos (generalmente extranjera) y la segunda compañía (generalmente local) es la responsable de la construcción y del montaje de las instalaciones del proyecto.

En los listados, por tanto, se divide al conjunto de las actividades en cuanto a su responsabilidad (y también en sus costos como será explicado en el siguiente capítulo) en dos grandes grupos pertenecientes a:

**La Compañía N°1**, que será la que tendrá la responsabilidad de suministrar la caldera y la totalidad de sus partes, y

**La Compañía N°2**, que será la que tendrá la responsabilidad de montar ó instalar la caldera que, por sus dimensiones se envía despiezada, asimismo será, conjuntamente con técnicos de la Cía N°1, la responsable de las pruebas y la puesta en marcha de la nueva caldera instalada.

En la subsiguiente ilustración N<sup>o</sup>16 y en el Plano N<sup>o</sup> TE-03 y 04 (al final de la Tesis) imprimimos el DIAGRAMA DE BARRAS y ploteamos el DIAGRAMA LOGICO DE LA RED CPM respectivamente, que representan las herramientas más importantes, con que dispone el hombre Responsable por la marcha de un proyecto, a efectos de planificar y controlar los principales objetivos trazados para la entrega de las nuevas instalaciones al Cliente en los lapsos y plazos contractuales previstos.

De las ilustraciones bastante elocuentes por si solas, podemos sin embargo aclarar y resaltar ciertas premisas y resultados:

a) Los siguientes son ciertos términos que al estar en idioma inglés (Procedencia del Software) creo conveniente detallarlos conjuntamente con su traducción:

Diagrama de barras.-

ACTIVITY ID	Identificador de la actividad
RESP	Compañía responsable por la actividad
TOTL FLT	Holgura total del proyecto
CRITICAL ACTIVITY	Actividad crítica
ACTIVITY BAR/EARLY DATES	Barra actividad /ejecuc. temprana
ACTIVITY LATE DATES	Barra actividad/ ejecuc. tardía

Diagrama lógico.-

OD	Duración original del proyecto
TF	Holgura total
E START	Inicio temprano de la actividad
E FINISH	Término temprano de la actividad

a) Se ha asumido la fecha de inicio del proyecto, (punto de encuentro de los eventos iniciales mencionados en la memoria descriptiva) para el 01 de abril de 1,992.

Este evento se ha identificado especialmente con la descripción C0001-INICIO DEL CONTRATO.

b) El "Software" ha calculado la fecha para el término del proyecto para el 23 de Marzo de 1,994, lo que da una duración total del proyecto en 721 días calendarios.

c) La red está compuesta por 65 actividades

d) Se ha considerado la siguiente jornada de trabajo:

\*\*\* De Lunes á Sábado todos los días del año  
salvo los feriados \*\*\*.

c) La ruta crítica está por el lado de las actividades relacionadas con la INGENIERIA, LA ADQUISICION DE MATERIALES, LA FABRICACION Y EL MONTAJE de los domos y el banco principal de la caldera, por consiguiente estas serán las que recibirán la máxima atención por parte del responsable del proyecto a fin de no atrazar la fecha de entrega de la caldera Del mismo modo podemos apreciar en forma clara como en un proyecto de esta naturaleza se utiliza el concepto de los "traslapes" en forma frecuente y efectiva a efectos de acortar la duración del proyecto.



## CAPITULO 7

### ESTIMADO DEL COSTO DE ADQUISICION E INSTALACION

Desarrollaremos en este último capítulo el costo del suministro ó de la adquisición y el de la Instalación ó Montaje del nuevo Generador de Vapor para la Planta Térmica de San Nicolás en Marcona.

Enfocaremos el desarrollo de este capítulo en dos acápites fundamentales, el primero tocará lo referente al costo del suministro y el segundo lo referente al costo del montaje respectivamente.

#### 7.1.- Costo del Suministro.-

Siguiendo los conceptos definidos en los capítulos precedentes, el alcance de este costo estará conformado por los siguientes rubros:

El costo del desarrollo de la ingeniería.

El costo de la procura ó adquisición de materiales.

El costo de la fabricación de las partes de la caldera.

El costo de la adquisición a terceros de

dispositivos y aparatos especializados conformantes de la caldera.

En el último acápite del anterior capítulo definimos que esta lista de alcances se encontraba dentro de las responsabilidades de la Compañía NO1, del consorcio ficticio establecido para el desarrollo del presente proyecto. Esta sería la encargada por la tecnología, la procura de materiales, la fabricación de las partes y el despacho a Lima.

DISTRAL S.A. empresa colombiana de reconocido prestigio como empresa fabricante de calderas de gran producción, con el soporte de la tecnología de punta que les brinda el ser socios de la "Combustion Engineering CO", y además con la garantía que les da el tener el exclusivo sello de calidad de la "ASME" es una empresa que ha participado en diversos países como la "Compañía NO1", en consorcios formados para ejecutar proyectos como el de la presente TESIS. Esta empresa, mencionada en diversos tópicos del presente proyecto, es la que me brindó importantes datos prácticos y técnicos para el desarrollo de los capítulos precedentes, y así también para el caso del presente capítulo.

Por sus características técnicas, por el modelo, por la capacidad de producción, y por las especificaciones del vapor sobrecalentado, el siguiente es un Estimado del

costo total que implicaría el suministro FOB de la caldera del presente proyecto:

	US\$
PRECIO FOB ó Ex-fábrica	2'675,200

Este costo se encuentra detallado , por sectores ó partes de la caldera , en el Cuadro N°11 que a continuación se presenta:

## CUADRO No 11

ESTIMADO DEL COSTO DEL SUMINISTRO  
CALDERA ACUOTUBULAR 190,000 LBS/HR

	US \$	
COSTO TOTAL DEL SUMINISTRO	2,675,200	
FOB - Ex-fábrica		
Descomposición del costo		
-----		
DESARROLLO INGENIERIA DEFINITIVA	100,000	3.7%
DOMOS DE LA CALDERA	276,600	10.3%
BANCO PRINCIPAL	421,400	15.8%
PAREDES DE AGUA	466,000	17.4%
SOBRECALENTADOR	207,100	7.7%
CALENTADOR LJUNSTROM	204,500	7.6%
ECONOMIZADOR	4,700	0.2%
VENTILADOR DE TIRO FORZADO	87,100	3.3%
CUBIERTAS	38,600	1.4%
SISTEMA DE QUEMADORES	116,600	4.4%
SOPLADORES DE HOLLIN	15,900	0.6%
ESTRUCTURAS PLATAFORMAS DE ACCESO	186,400	7.0%
DUCTOS DE AIRE Y DE GASES	81,800	3.1%
AISLAMIENTOS	58,400	2.2%
REFRACTARIOS	20,500	0.8%
TUBERIAS EXTERIORES	19,900	0.7%
ACCESORIO MISCELANEOS MENORES	80,000	3.0%
INSTRUMENTACION	189,700	7.1%
INSTALACIONES ELECTRICOS	100,000	3.7%
	-----	
TOTAL US \$	2,675,200	100.0%

De aquel cuadro que ha sido tomada teniendo en cuenta información suministrada por DISTRAL S.A. podemos extraer las siguientes conclusiones:

- 1.- Se aprecia que la suma de los costos del suministro de los domos, del banco principal, de las paredes de agua y el sobrecalentador representan aproximadamente un 51% del costo total, siendo por lo tanto estos cuatro rubros los más representativos dentro del costo total del suministro de una caldera acuotubular.
- 2.- Son asimismo también rubros importantes el calentador de aire regenerativo Ljunstrom, el conjunto de Instrumentación-Instalaciones eléctricas y la estructura de plataforma de servicio.
- 3.- Al costo FOB ó Ex-fábrica se le tendrá que añadir asimismo el costo del transporte ó flete desde Bogotá-Colombia hasta el Puerto del Callao en Lima. Para los tres despachos que se tienen programados efectuar para el envío de la totalidad de las partes de la caldera, según el Programa del Proyecto, se estiman los siguientes costos, teniendo en cuenta información recibida de una empresa naviera:



	US \$
Despacho N°1	50,000
Despacho N°2	40,000
Despacho N°3	20,000
	-----
<b>Costo total del flete</b>	<b>110,000</b>

4.- Como todo flete marítimo implica un costo del Seguro de Transporte, consultando con empresas navieras este podría estimarse en:

**Costo del Seguro de FLETE marítimo 15,000 US\$**

Resumiendo entonces el costo CIF (cost, freight & insurance) del suministro de la caldera se estima en:

	US \$
<b>COSTO</b>	<b>2'675,200</b>
<b>FLETE</b>	<b>110,000</b>
<b>SEGURO</b>	<b>15,000</b>
	-----
<b>Total CIF en US\$ dolares</b>	<b>2'800,200</b>

## 7.2.- Costo del Montaje.-

La responsabilidad del desarrollo y la ejecución de esta fase del proyecto así de los correspondientes costos en que se incurra estará a cargo de la **Compañía Nº2** del supuesto consorcio formado para la ejecución de este proyecto.

Como fué establecido en el acápite 6.1 los alcances de esta fase del proyecto serían:

- i.- Desmontaje caldera existente.
- ii.- Demolición bases de concreto actuales y  
Construcción de nuevas bases de concreto.
- iii.- Montaje de la nueva caldera.
- iv.- Pruebas y puesta en marcha.

Desarrollaremos detalladamente entonces los costos de este conjunto de actividades.

Para un mejor y clara comprensión de la elaboración del costo dividiremos el análisis en dos facetas:

- 1.- El Costo Directo
- 2.- El Costo Indirecto

### El Costo Directo

En el acápite 6.2 del presente trabajo se calcularon las Horas-Hombre requeridas para la ejecución de cada una de las actividades que constituyen el Montaje de la Caldera.

Aquellas Horas-Hombre (H-H) calculadas, constituyen los datos más importantes con que se debe disponer antes de iniciar, en general, el análisis del costo directo de la construcción en sitio de un determinado proyecto, en adelante "OBRA".

A efectos de efectuar inclusive en forma más analítica los cálculos correspondientes, dividiremos la Obra en las siguientes fases:

#### Fases para los análisis de costo

FASE	DESCRIPCION
01	Obras civiles
02	Desmontaje
03	Montaje mecánico
04	Refractarios-Aislamiento-Pintura
05	Inst. eléctricas-Instrumentación
06	Pruebas

Asimismo el costo total directo de cada una de las fases definidas estará constituido por los siguientes costos parciales:

- i.- Materiales permanentes
- ii.- Materiales consumibles
- iii.- Mano de Obra
- iv.- Equipos y herramientas de construcción
- v.- Vehículos
- vi.- Combustibles
- vii.- Subcontratos

Describiremos y definiremos a continuación cada uno de los costos parciales, a efectos de entender mejor los cuadros y ratios que más adelante presentaremos:

1.- Costo de los materiales permanentes.-

Conformarán este costo los materiales permanentes, que se definen como aquellos que una vez concluida la obra quedarán como parte del proyecto. Ejemplo de este tipo de materiales son: los perfiles y las planchas de acero, (en caso lo suministre la Compañía Contratista), los pernos, la pintura, los conductores ó cables eléctricos, el cemento, el fierro de construcción, los ladrillos, etc.

En el presente proyecto el único material permanente a suministrar por la Compañía Nº2 sería la pintura epóxica

para los trabajos de acabados y retoques que normalmente siempre se efectúan en obra, casi a la culminación de la misma.

Su forma de cálculo es sencilla y se basa en los resultados de los "metrados" de obra que en forma bastante exacta se deberían ejecutar previo al inicio de cualquier obra. Por ejemplo si se estiman en un determinado proyecto 50,000 kilos netos de estructuras livianas proyectadas en base a perfiles y planchas nacionales, se tendrían que adquirir 50,000 kilos de acero LAC (estructural Laminado en Caliente) más un 5% de desperdicios, y multiplicar el peso total obtenido por el precio unitario de mercado que a la fecha es de aproximadamente 0.80 Soles el kg de acero, sin IGV.

#### 11.- Costo de los materiales consumibles.-

Estos materiales lo conforman aquellos que se "consumen" durante el proceso de construcción en alguna determinada obra, por ejemplo: los electrodos de soldaduras, el oxígeno, el acetileno, el argón, el carburo, los discos de esmeril, las escobillas, etc.

Su forma de cálculo se basa en ratios que las firmas contratistas mantienen en su banco de datos, obtenidos en base a las obras realmente ejecutadas. Por ejemplo la



cantidad de soldadura necesaria para fabricar 1 tonelada de estructura liviana se estima en 14 kg, el oxígeno en 12 m<sup>3</sup> y el acetileno en 4 m<sup>3</sup> por tonelada respectivamente. La cantidad que se obtiene luego de aplicar dichos ratios al metrado real estimado de la fase, se multiplica luego por los precios unitarios de mercado para cada uno de los materiales consumibles, por ejemplo la soldadura E-70XX se obtiene en el mercado a Enero 92 a 1.8 soles/kilo, el acetileno en 8.00 soles/m<sup>3</sup> y el oxígeno en 2.80 soles/m<sup>3</sup>, precios sin IGV.

#### 111.- Costo de la mano de obra.-

Este se calcula teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Cuadro N°9 del acápite 6.2. En aquel cuadro en la columna TOTAL H-H se calcularon las correspondientes Horas hombres necesarias para culminar la ejecución de las correspondientes actividades. Si agrupamos ahora dichas Horas-Hombre de acuerdo a las fases definidas líneas arriba tenemos entonces:

Resumen H-H por fases de costo

FASE	DESCRIPCION	TOTAL H-H
01	Obras civiles	3,305
02	Desmontaje	6,667
03	Montaje mecánico	47,699
04	Refractarios-Aislamiento-Pintura	2,059
05	Inst. eléctricas-Instrumentación	4,495
06	Pruebas	2,880
	Total	67,105

Estas horas hombre calculadas luego se tienen que multiplicar por un costo de H-H que en su estructura estará conformado por :

Costo de los jornales, que está legalizado y reglamentado por leyes que norman la materia y que están en función de "las conquistas laborales" que consiguen los trabajadores del "Régimen de Construcción Civil" en sus correspondientes pliegos de reclamos. Este es el régimen bajo la cual trabajan tanto el personal de obras civiles como el de obras de montaje electromecánico.

Costo de los viáticos que se refiere a la compensación que aunque no estén obligados las firmas contratistas ( ya que está incluido en el jornal básico ) se le otorga al personal para mejorar las condiciones de alimentación en las obras y por ende mejorar la

productividad.

Costo de útiles de protección, que consiste en todos aquellos implementos de seguridad que los obreros requieren para una segura ejecución de sus labores, pertenecen a este rubro los cascos de seguridad, los guantes de cuero, las caretas de esmerilador ó de soldador, los escarpines de soldador, las botas de seguridad, las correas de seguridad, etc.

- Costo de pasajes, que consiste en el costo del traslado ó movilización del personal al lugar de la obra cuando es enviado a obra desde Lima.

Costo de alojamiento, que consiste en los que se invierte para dar el alojamiento al personal, ya sea este por el sistema de "Barracas temporales", alquiler de casas ó pago de habitación en hoteles.

Podemos resumir entonces el costo de la H-H promedio, donde además indico los órdenes de magnitud a Enero 92 de los correspondientes costos que intervienen en este rubro para una obra a ejecutarse en Marcona-Nazca.

Costo jornales	2.21
Costo viáticos	0.26
Costo útiles de seguridad	0.15
Costo de pasajes	0.02
Costo de alojamiento	0.30
	=====
Total Costo H-H	2.94

iv.- Costo de equipos, herramientas y vehículos.-

Estos rubros del costo directo se obtienen en base a estimaciones efectuadas por "gente con experiencia" y mucho conocimiento sobre la materia. Asimismo se puede obtener datos en los bancos de datos, memorias descriptivas y/o informes de obras ejecutadas.

Para el caso específico de esta materia obtuve el valioso aporte de un "viejo" supervisor de Cosapi S.A. Ingenieros Contratistas, que con sus amplio conocimiento me brindó la adecuada información respecto de la cantidad y tipo de equipos requeridos para el Montaje de una Caldera Acuotubular.

La forma de cálculo de estos rubros es sencilla y se basa en tres conceptos fundamentales:

EL primero se refiere a la cantidad de equipos requeridos para el desarrollo de los trabajos ; por ejemplo si se han previsto tres soldadores en alguna fabricación metálica, es obvio se requerirán tres máquinas de soldar, también tres esmeriles angulares y así por el estilo. En el caso de maniobras de izaje de equipo ó bultos pesados, también, si la misma es una fase exclusiva de izaje, es obvio se requerirá una grua de capacidad adecuada para las labores de izaje.

Lo segundo se refiere a los lapsos que se requieren a los equipos en la Obra ; éste es una información vital que depende de los lapsos de obra de la fase correspondiente y sobre todo de la experiencia que se tenga en la especialidad.

Lo último se refiere a las tarifas de los equipos, herramientas y vehículos, éstas generalmente se averiguan en empresas contratista y se fijan actualmente en la oferta y la demanda, aunque en promedio andan por las que publica la institución CAPECO y el ministerio de transportes. Para el presente caso CAPECO es nuestra fuente de información.

v.- Costo de Subcontratos.-

Se refiere este rubro a todos aquellos trabajos que por su alta especialidad ameritan se ejecuten por empresas especializadas. Por ejemplo los trabajos de galvanizado, de mecánica fina, de Empalme de Fajas transportadoras, y de Tomas de Placas radiográficas a cordones de soldadura, son algunos ejemplos típicos de subcontratos en una obra electromecánica.

Para el caso del presente proyecto se requerirá subcontratar en Lima a cierta empresa que brinde el servicio de las tomas de placas radiográficas a todos aquellos cordones a efectuarse en Obra estipulados según



el Asme Power Boiler Code.

En el caso del presente proyecto he estimado se requerirán efectuar unas 350 placas estandar de 8cm x 25cm a los cordones de soldadura que se tengan que ejecutar en obra durante el armado de las partes de la caldera, sobre todo de las partes sometidas a presión (Banco principal, paredes del hogar, sobrecalentador, etc).

"Ensayos no destructivos S.A." es una empresa que brinda satisfactorios servicios de este tipo. El costo a Enero 92 es de aproximadamente \$20.00 por placa lo que incluye el trabajo propio de las tomas en "Obra" de las placas, más los informes técnicos respectivos. Por tanto, el costo a Enero para nuestro proyecto será en US\$ de  $20 \times 350 = \$7,000$  equivalente a S/.7,000.00 según el cambio a dicha fecha.

Hemos culminado pues con la descripción de la definición y el procedimiento de cálculo de cada uno de los rubros que intervienen en el costo directo del montaje de nuestra caldera. A continuación, desde el Cuadro N°12 hasta el N°17, procederemos a calcular, utilizando el paquete LOTUS (Software de Hoja Electrónica ampliamente utilizado para la elaboración de costos y presupuestos por su flexibilidad y facilidad de uso); los costos directos de cada una de las 6 fases de costo directo definidas líneas arriba:

## CUADRO No 12

## ANALISIS DEL COSTO DIRECTO DE LAS OBRAS CIVILES

ITEM	DESCRIPCION	Und	Metrado	Costo Unitario S/.	Costo Total S/.
2.1	Demolición bases de concreto actuales =====				
2.1.1	Demolición losas de pavimento	M3	90.0	25.77	2,319.30
2.1.2	Demolición concreto de fundaciones	M3	100.0	34.16	3,416.00
	Subtotal demoliciones				5,735.30
2.2	Construcción nuevas bases de concreto =====				
	A. Bases de la nueva caldera -----				
2.2.1	Excavación combinada fundaciones	M3	41.0	26.19	1,073.79
2.2.2	Acarreo de sobrantes	M3	351.0	4.85	1,702.35
2.2.3	Relleno con material seleccionado	M3	61.0	13.33	813.13
2.2.4	Concreto pobre 2,000 psi (cemento tipo II)	M3	7.0	19.07	133.49
2.2.5	Concreto para fundaciones 3000 psi (cemento tipo II)	M3	41.0	73.14	2,998.74
2.2.6	Acero de refuerzo para fundaciones	KG	4,100.0	1.11	4,551.00
2.2.7	Pernos de anclaje	KG	179.0	2.15	384.85
2.2.8	Grouting sin retracción de fraguado (Sika-Grout)	LT	292.0	6.74	1,968.08
2.2.9	Concreto losa de piso 3000 psi (cemento tipo II)	M3	12.0	73.64	883.68
2.2.10	Encofrados	M2	206.0	5.95	1,225.70
	B. Bases de Estructuras de plataforma -----				
2.3.1	Excavación combinada fundaciones	M3	15.0	26.19	392.85
2.3.2	Acarreo de sobrantes	M3	20.0	4.85	97.00
2.3.3	Relleno con material seleccionado	M3	8.0	13.33	106.64
2.3.4	Concreto pobre 2000 psi (cemento tipo II)	M3	2.0	19.07	38.14
2.3.5	Concreto para fundaciones 3000 psi (cemento tipo II)	M3	8.0	73.14	585.12
2.3.6	Acero de refuerzo - fundaciones	KG	770.0	1.11	854.70
2.3.7	Pernos de anclaje	KG	400.0	2.15	860.00
2.3.8	Grouting mortero común (sin aditivos)	M3	0.2	77.6	15.52
	Subtotal bases de concreto A+B				18,684.78
	Total Costo Directo Obras Civiles				24,420.08

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida	Descripción			Unidad: m3	
				Metrado:	90.00
2.1.1	Demolición losas de pavimento	=====			
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
=====					
01.	Mano de Obra	-----			
01.1	Capataz de Lima	h-h	1.000	2.60	2.60
01.2	Operador de equipos	h-h	1.500	2.40	3.60
01.3	Peón de la zona	h-h	2.000	2.03	4.06
					-----
			Subtotal mano de obra		10.26
02.	Equipos	-----			
02.1	Moto compresora 330 cfm	h-m	1.500	7.50	11.25
02.2	Martillo neumático rompempavimento	h-m	3.000	1.25	3.75
02.3	Herramientas	%M.ob	5.0%	10.26	0.51
					-----
			Subtotal equipos		15.51
					=====
			Total Precio Unitario		25.77
					=====

Partida	Descripción			Unidad: m3	
				Metrado:	100.00
2.1.2	Demolición concreto de fundaciones	=====			
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
=====					
01.	Mano de Obra	-----			
01.1	Capataz de Lima	h-h	1.000	2.60	2.60
01.2	Operador de equipos	h-h	2.000	2.40	4.80
01.3	Peón de la zona	h-h	3.000	2.03	6.09
					-----
			Subtotal mano de obra		13.49
02.	Equipos	-----			
02.1	Moto compresora 330 cfm	h-m	2.000	7.50	15.00
02.2	Martillo neumático rompempavimento	h-m	4.000	1.25	5.00
02.3	Herramientas	%M.ob	5.0%	13.49	0.67
					-----
			Subtotal equipos		20.67
					=====
			Total Precio Unitario		34.16
					=====

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida Descripción Unidad: m3  
2.2.1 y Metrado: 41.00  
2.3.1 Excavación combinada fundaciones

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Mano de Obra				
01.1	Capataz de Lima	h-h	0.750	2.60	1.95
01.2	Operador de equipos	h-h	0.250	2.40	0.60
01.3	Peón de la zona	h-h	2.000	2.03	4.06
				Subtotal mano de obra	6.61
02.	Equipos				
02.1	Retroexcavadora CAT Modd 225	h-m	0.250	77.00	19.25
02.2	Herramientas	%H.ob	5.0%	6.61	0.33
				Subtotal equipos	19.58
				Total Precio Unitario	26.19

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Mano de Obra				
01.2	Operador de equipos	h-h	0.100	2.40	0.24
01.3	Peón de la zona	h-h	0.400	2.03	0.81
				Subtotal mano de obra	1.05
02.	Equipos				
02.1	Cargador frontal CAT mod 950	h-m	0.04	50.00	2.00
02.2	Volquete 10 m3 Volvo	h-m	0.06	30.00	1.80
				Subtotal equipos	3.80
				Total Precio Unitario	4.85

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida Descripción Unidad: m<sup>3</sup>  
2.2.3 y Metrado: 61.00  
2.3.3 Relleno con material seleccionado

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Afirmado seleccionado	m <sup>3</sup>	1.200	8.00	9.60
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla mov. de tierras	h-h	1.400	2.35	3.29
					3.29
03.	Equipos				
03.1	Apisonadora gasol. Mikasa mtr-80-h	h-m	0.100	2.75	0.28
03.2	Herramientas	%M.ob	5.0%	3.29	0.16
					0.44
					Subtotal mano de obra
					3.29
					Subtotal equipos
					0.44
					Total Precio Unitario
					13.33

Partida Descripción Unidad: m<sup>3</sup>  
2.2.4 y Metrado: 7.00  
2.3.4 Concreto pobre 2,000 psi (cemento tipo II)

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Cemento tipo II	bls	2.000	4.70	9.40
01.2	Hormigón	m <sup>3</sup>	1.000	6.00	6.00
					15.40
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla de concreto	h-h	1.100	2.40	2.64
					Subtotal mano de obra
					2.64
03.	Equipos				
03.1	Mezcladora 12 p <sup>3</sup>	h-m	0.25	3.60	0.90
03.2	Herramientas	%M.ob	5.0%	2.64	0.13
					Subtotal equipos
					1.03
					Total Precio Unitario
					19.07



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida	Descripción	Unidad:			
2.2.5 y		m <sup>3</sup>			
2.3.5	Concreto para fundaciones 3000 psi (cemento tipo II)	Metrado:	41.00		
=====					
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
=====					
01.	Materiales	-----			
01.1	Cemento tipo II	bls	10.000	4.70	47.00
01.2	Arena	m <sup>3</sup>	0.500	5.00	2.50
01.3	Piedra	m <sup>3</sup>	0.850	6.00	5.10
					-----
					54.60
02.	Mano de Obra	-----			
02.1	Cuadrilla de concreto	h-h	7.000	2.40	16.80
					-----
Subtotal mano de obra					16.80
03.	Equipos	-----			
03.1	Mezcladora 12 p <sup>3</sup>	h-m	0.25	3.60	0.90
03.2	Herramientas	%M.ob	5.0%	16.80	0.84
					-----
Subtotal equipos					1.74
					=====
Total Precio Unitario					73.14
=====					

Partida	Descripción	Unidad:			
2.2.6 y		kg			
2.3.6	Acero de refuerzo para fundaciones	Metrado:	4,100.00		
=====					
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
=====					
01.	Materiales	-----			
01.1	Acero de refuerzo	kg	1.05	0.80	0.84
01.2	Alambre N° 16	kg	0.02	0.65	0.01
					-----
					0.85
02.	Mano de Obra	-----			
02.1	Cuadrilla de fierro	h-h	0.100	2.40	0.24
					-----
Subtotal mano de obra					0.24
03.	Equipos	-----			
03.1	Cortadora de fierro Pedinghauss 1"	h-m	0.02	1.15	0.02
					-----
Subtotal equipos					0.02
					=====
Total Precio Unitario					1.11
=====					

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida Descripción Unidad: kg  
2.2.7 y Metrado: 179.00  
2.3.7 Pernos de anclaje

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Fierro Redondo liso	kg	1.050	0.85	0.89
01.2	Tuercas y arandelas	und	2.000	0.10	0.20
					1.09
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla de fierro	h-h	0.400	2.40	0.96
					0.96
03.	Equipos				
03.1	Global	%M.ob	10.0%	0.96	0.10
					0.1
					Total Precio Unitario
					2.15

Partida Descripción Unidad: lts  
2.2.8 Grouting sin retracción de fraguado Metrado: 292.00

Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Sika-Grout	kg	0.200	5.00	1.00
01.2	Hormigón	m <sup>3</sup>	0.500	6.00	3.00
					4.00
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla de concreto	h-h	1.100	2.40	2.64
					2.64
03.	Equipos				
03.1	Trompito 9 p3	h-m	0.1	1.00	0.10
					0.10
					Total Precio Unitario
					6.74

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida	Descripción			Unidad: m <sup>3</sup>	
				Metrado: 12.00	
2.2.9	Concreto losa de piso 3000 psi (cemento tipo II)				
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Cemento tipo II	bls	10.000	4.70	47.00
01.2	Arena	m <sup>3</sup>	0.500	5.00	2.50
01.3	Piedra	m <sup>3</sup>	0.850	6.00	5.10
					54.60
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla de concreto	h-h	7.200	2.40	17.28
					Subtotal mano de obra 17.28
03.	Equipos				
03.1	Mezcladora 12 p <sup>3</sup>	h-m	0.25	3.60	0.90
03.2	Herramientas	%M.ob	5.0%	17.28	0.86
					Subtotal equipos 1.76
					<b>Total Precio Unitario 73.64</b>

Partida	Descripción			Unidad: m <sup>2</sup>	
				Metrado: 206.00	
2.2.10	Encofrados				
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
01.	Materiales				
01.1	Madera tornillo	p2	3.30	0.40	1.32
01.2	Clavos	kg	0.20	0.45	0.09
01.3	Alambre N° 8	kg	0.15	0.65	0.10
					1.41
02.	Mano de Obra				
02.1	Cuadrilla de encofrados	h-h	1.800	2.40	4.32
					Subtotal mano de obra 4.32
03.	Equipos				
03.1	Herramientas varias	%M.ob	5.0%	4.32	0.22
					Subtotal equipos 0.22
					<b>Total Precio Unitario 5.95</b>

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
CIVILES

Partida	Descripción	Unidad: m3			
		Metrado:	0.20		
2.3.8	Grouting mortero común sin aditivos				
=====					
Item	Recurso	Unid	Rend	Precio Recurso	Precio Parcial
=====					
01.	Materiales				
	-----				
01.1	Cemento tipo II	bls	12.000	4.70	56.40
01.2	Arena	m3	1.100	6.00	6.60
					-----
					63.00
02.	Mano de Obra				
	-----				
02.1	Cuadrilla de concreto	h-h	4.000	2.40	9.60
					-----
					Subtotal mano de obra 9.60
03.	Equipos				
	-----				
03.1	Trompito 9 p3	h-m	5	1.00	5.00
					-----
					Subtotal equipos 5.00
=====					
Total Precio Unitario					77.60
=====					

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO

=====

FASE DE COSTO No 2: DESMONTAJE MECANICO

DATOS GENERALES BASICOS

FASES	UNID.	CANT.
METRADO GLOBAL	KG	300,000
HORAS HOMBRE TOTALES	H-H	6,667
REND. PROMEDIO	KG/H-H	45.0

1.- MATERIALES PERMANENTES

NINGUNO

2.1.-MANO DE OBRA DIRECTA

-----	No. Jornales y PERS leyes soc. S/H-H	Costo Jornales S/.	Costo Viáticos S/.	Costo Util. seg. S/.	Costo Pasajes S/.	Costo Estadía S/.	COSTO TOTAL S/.	
			3.50	39.87	12.00	4.00		
				36.86				
JEFE DE GRUPO	2	2.62	2,055.00	329.43	116	24.00	376	2,900.56
OPERARIO ESPECIALISTA	4	2.40	3,764.89	658.86	231	48.00	753	5,456.02
OPERARIO SOLDADOR	2	2.45	1,921.66	329.43	125	24.00	376	2,776.67
OFICIAL DE LIMA	3	2.13	2,506.01	494.14	173	36.00	565	3,774.35
AYUDANTE DE ZONA	6	1.98	4,659.06	0.00	347	0.00	0	5,005.99
	17		14,906.62	1,811.86	992.42	132.00	2,070.69	19,913.59

HORAS-HOMBRE 6,667 H-H  
 HORAS LABORADAS POR MES 250 Hrs  
 DURACION DE LA FASE 1.57 Meses

2.2.-M. DE O. OPERADORES

-----	No. PERS	No. Meses en Obra	Jornales y leyes soc. S/H-H	Costo Jornales S/.	Costo Viáticos S/.	Costo Util. seg S/.	Costo Pasajes S/.	Costo Estadía S/.	COSTO TOTAL S/.
					3.50	36.86	12.00	4.00	
OPERADOR DE GRUA 75 TON	1	0.15	2.62	98.25	15.75	5.53	12.00	18.00	149.53
OPERADOR GRUA TORRE LIEBHERR	1	1.50	2.40	900.00	157.50	55.29	12.00	180.00	1,304.79
OPERADOR CAMION / GRUA HIAB	1	1.50	2.45	918.75	157.50	55.29	12.00	180.00	1,323.54
				1,917.00	330.75	116.11	36.00	378.00	2,777.86



.- MATERIALES CONSUMIBLES

253

		IGV=	1.16	VOLUMEN :		300 TON
DESCRIPCION	UND	COST UNI	P.UN.	REND.	CANT.	COSTO
Electrodo 60XX-70XX	Kg.	2.09	1.80	0.20	60	125
Oxígeno	m3.	3.25	2.80	1.80	540	1,755
Acetileno	m3.	9.28	8.00	0.60	180	1,670
Varios				10.0%		355
TOTALES						3,905

4.- EQUIPOS DE CONSTRUCCION

No. OPER. : 4  
 No. SOLD. : 2  
 No. PERS : 17  
 PLAZO 1.57

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	HRS/ DIA	COMBUST. S/. MES	CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
EQUIPO DE CORTE X-31	22			5	1.57	175	0
ESMERIL ELECTRICO ANGULAR	32			3	1.57	153	0
GATA MECANICA 15 TON.	44			4	1.57	274	0
GRUA TORRE 3.5 TON	3,813			1	1.50	5,720	0
GRUA HIDRAULICA DE 75 TON	44,637	8	768	1	0.15	6,696	115
MAQ.SOLDAR A RECTIFICADOR 400 A	103			2	1.57	324	0
PORTATECLES 2 T	9			3	1.57	42	0
TABLERO DISTRIBUCION ELECTRICA	82			1	1.57	129	0
TABLERO PARA TOMA DE FUERZA	69			1	1.57	108	0
TECLE DE RACHET 1.5 TON	38			4	1.57	240	0
TIRFORD DE 1.5 TON	31			4	1.57	193	0
TIRFORD DE 3.0 TON	62			4	1.57	391	0
TORNA ELECTRONEUMATICA TE-17	86			2	1.57	270	0
TOTALES						14,715	115

5.- HERRAMIENTAS

No. OPER. : 4  
 No. SOLD. : 2  
 PERS/ACT. : 17  
 PLAZO 1.57

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	CANT	MESES	COSTO
ANDAMIO (CUERPO)	36	20	1.57	1,118
BOTELLA DE ACETILENO	12	12	1.57	218
BOTELLA DE OXIGENO	12	12	1.57	218
CAJON METALICO P'HERRAMIENTAS.	7	4	1.57	45
ESTUCHE HERRAM. TUBERO	22	2	1.57	70
ESTUCHE HERRAM. MONTAJE	41	2	1.57	129
TOTALES				1,798

6.- VEHICULOS

254

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	KM DIA	COMBUST. S/. MES	PLAZO		COSTO	COMBUST.
				CANT	MESES		
CAMION 1313 C/GRUA HIAB 1165	5,199	70	156	1	1.50	7,798	234
TOTALES						7,798	234

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO =====	TOTALES S/.	INCID.
=====	=====	=====
1.- MATERIALES PERMANENTES	0	0.0%
2.- MANO DE OBRA		
2.1	19,913.59	38.9%
2.2	2,777.86	5.4%
3.- MATERIALES CONSUMIBLES	3,905.00	7.6%
4.- EQUIPOS		
ALQ.	14,715.00	28.7%
COMB.	115.00	0.2%
5.- HERRAMIENTAS		
ALQ.	1,798.00	3.5%
COMB.	234.00	0.5%
6.- VEHICULOS	7,798.00	15.2%
	-----	-----
	51,256.45	100.0%

## 3.- MATERIALES CONSUMIBLES

DESCRIPCION	IGV=	1.16	VOLUMEN		252 TON	
	DES=	1.00	P.UN.	REND.	CANT.	COSTO
Electrodo 60XX-70XX	Kg.	2.09	1.80	0.24	60	126
Oxígeno	m3.	3.25	2.80	0.90	226	736
Acetileno	m3.	9.28	8.00	0.30	75	700
Disco de esmeril 1/4 x 7"	und.	11.02	9.50	0.50	126	1,386
Escobilla 3 filas acero	und.	1.74	1.50	1.00	252	438
Soldadura especial en rollos	SUNISTRTO A CARGO DE COMPAÑIA 01					0
Gas argón	SUNISTRTO A CARGO DE COMPAÑIA 01					
Varios				10.0%		339
TOTALS						3,725

## 4.- EQUIPOS DE CONSTRUCCION

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	HRS/ DIA	COMBUST. S/. MES	CANT	MESES	COSTO	COMBUST.	No. OPER. :	4
								No. SOLD. :	4
								No. PERS :	25
								PLAZO	7.63
BISELADORA DE TUBOS 2.5"-4"	61			1	7.63	465	0		
COMPRESORA DE 700 P3	2,610	10	1000	1	5.00	13,049	5,000		
DOBLADORA DE TUB HIDR. 1/4"A 5"	189			2	7.63	2,878	0		
EQUIPO DE CORTE X-31	22			4	7.63	679	0		
ESMERIL ELECTRICO ANGULAR	32			8	7.63	1,982	0		
ESMERIL ELECTRICO DE BANCO	52			1	5.00	258	0		
GATA MECANICA 15 TON.	44			4	7.63	1,330	0		
GRUA TORRE 3.5 TON	3,813			1	5.00	19,065	0		
GRUA HIDRAULICA DE 75 TON	44,637	8	768	1	0.25	11,159	192		
HORNO SECADOR DE SOLDADURA	13			2	7.63	204	0		
MAQ.SOLDAR A RECTIFICADOR 400 A	103			4	7.63	3,150	0		
MAQ.SOLD/PROCESO TIG ALT FREC	144			4	7.63	4,395	0		
TABLERO DISTRIBUCION ELECTRICA	82			1	7.63	628	0		
TABLERO PARA TOMA DE FUERZA	69			2	7.63	1,052	0		
TECLE DE RACHET 1.5 TON	38			2	7.63	584	0		
TIRFORD DE 1.5 TON	31			2	7.63	468	0		
TIRFORD DE 3.0 TON	62			2	7.63	950	0		
TORNA ELECTRONEUMATICA TE-17	86			2	7.63	1,310	0		
TOTALS						63,606	5,192		

## 5.- HERRAMIENTAS

-----

No. OPER. : 4  
 No. SOLD. : 4  
 PERS/ACT. : 25  
 PLAZO 7.63

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	CANT	MESES	COSTO
ANDAMIO (CUERPO)	36	20	7.63	5,431
BANCO DE FIERRO PARA TRABAJO	9	2	5.00	89
BOTELLA DE ACETILENO	12	8	7.63	706
BOTELLA DE OXIGENO	12	8	7.63	706
CAJON METALICO P'HERRAMIENTAS.	7	6	7.63	326
CORTATUBO 1/8" A 2" RIGID	12	2	5.00	116
ESTUCHE DADOS	89	2	5.00	890
ESTUCHE HERRAM. TUBERO	22	4	7.63	679
ESTUCHE HERRAM. MONTAJE	41	2	7.63	625
TRIPODE CON MORDAZA 1/8"-5"	71	1	5.00	356
TOTALES				9,924

## 6.- VEHICULOS

-----

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	KM DIA	COMBUST. S/. MES	PLAZO CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
CAMION 1313 C/GRUA HIAB 1165	5,199	70	156	1	5.00	25,994	780
TOTALES						25,994	780

## 7.- SUBCONTRATOS

TOMA DE 350 PLACAS RADIOGRAFICAS A 7,000  
 CORDONES DE SOLDADURA HECHOS EN MONTAJE

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO	TOTALES S/.	INCID.
1.- MATERIALES PERMANENTES	0	
2.- MANO DE OBRA		
2.1.-	138,531.61	52.5%
2.2.-	8,946.32	3.4%
3.- MATERIALES CONSUMIBLES	3,724.60	1.4%
4.- EQUIPOS		
ALQUIL.	63,606.00	24.1%
COMB.	5,192.00	2.0%
5.- HERRAMIENTAS	9,924.00	3.8%
6.- VEHICULOS		
ALQUIL.	25,994.00	9.8%
COMB.	780.00	0.3%
7.- SUBCONTRATOS	7,000.00	2.7%
	<u>263,698.53</u>	<u>100.0%</u>

## 3.- MATERIALES CONSUMIBLES

DESCRIPCION	UND	COST UNI	P.UN.	REND.	CANT.	COSTO
Electrodo 60XX-70XX	Kg.	2.09	1.80	0.80	13	27
Oxígeno	m3.	3.25	2.80	0.60	10	33
Acetileno	m3.	9.28	8.00	0.20	3	28
Disco de esmeril 1/4 x 7"	und.	11.02	9.50	0.20	3	33
Brocha de 4"	und.	6.50	5.60	1.50	25	163
Solvente para limpieza	gln.	8.12	7.00	1.50	25	203
Broca HSS 1/4" 1/2"	und.	34.80	30.00	0.50	8	278
Varios				10.0%		77
TOTALES						842

## 4.- EQUIPOS DE CONSTRUCCION

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	HRS/DIA	COMBUST. S/. MES	CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
CORTADORA ELECTRICA DE DISCO	105			1	0.82	87	0
EQUIPO DE CORTE X-31	22			1	0.82	18	0
ESMERIL ELECTRICO ANGULAR	32			2	0.82	53	0
MAQ.SOLDAR A RECTIFICADOR 400 A	103			1	0.82	85	0
TALADRO ELECTRICO PORTATIL 7/8"	95			2	0.82	156	0
TECLE DE RACHET 1.5 TON	38			2	0.82	63	0
TOTALES						462	0

## 5.- HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	CANT	MESES	COSTO
BANCO DE FIERRO PARA TRABAJO	9	2	0.82	15
BOTELLA DE ACETILENO	12	1	0.82	10
BOTELLA DE OXIGENO	12	1	0.82	10
ESTUCHE HERRAM. MONTAJE	41	4	0.82	135
TOTALES				170



## 6.- VEHICULOS

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	KM DIA	COMBUST. S/.MES	PLAZO		0.82	
				CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
CANION 1313 C/GRUA HIAB 1165	5,199	70	156	1	0.50	2,599	78
TOTALES						2,599	78

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO		TOTALES	INCID.
		S/.	
1.-	MATERIALES PERMANENTES	1,200.00	9.9%
2.-	MANO DE OBRA		
	2.1.-	6,313.81	52.1%
	2.2.-	449.18	3.7%
3.-	MATERIALES CONSUMIBLES	841.50	6.9%
4.-	EQUIPOS		
	ALQUIL.	462.00	3.8%
	COMB.	0.00	0.0%
5.-	HERRAMIENTAS	170.00	1.4%
6.-	VEHICULOS		
	ALQUIL.	2,599.00	21.3%
	COMB.	78.00	0.6%
		12,113.49	99.7%

.- MATERIALES CONSUMIBLES

DESCRIPCION	UND	COST UNI	P.UN.	REND.	CANT.	COSTO
Electrodo 60XX-70XX	Kg.	2.09	1.80	1.20	9	19
Oxigeno	m3.	3.25	2.80	1.10	9	29
Acetileno	m3.	9.28	8.00	0.30	2	19
Disco de esmeril 1/4 x 7"	und.	11.02	9.50	0.40	3	33
Varios				ACCES. MENORES		600
TOTALS						700

4.- EQUIPOS DE CONSTRUCCION

No. OPER. : 3  
 No. SOLD. : 1  
 No. PERS : 12  
 PLAZO 1.50

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	HRS/DIA	COMBUST. S/. MES	CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
CABEZAL ROSCAD.ELECT. 1/8" A 2"	79			2	1.50	236	0
CALIBRADOR NEUM. DE INSTRUMENTOS.	28			2	1.50	85	0
DOBLADORA DE TUB HIDR. 1/4"A 5"	189			2	1.50	565	0
EQUIPO DE CORTE X-31	22			2	1.50	67	0
ESMERIL ELECTRICO ANGULAR	32			2	1.50	97	0
FASCIMETRO CLASE 05	10			2	1.50	31	0
FRECUENCIMETRO DE 60 CICLOS	85			2	1.50	253	0
MAQ.SOLDAR A RECTIFICADOR 400 A	103			1	1.50	155	0
MEGOMETRO 1000 V CLASE COMUN	80			2	1.50	240	0
MILIAMPERIMETRO 0-1000 A	16			2	1.50	49	0
MULTIMETRO DIGITAL RDM-1000	57			2	1.50	172	0
MULTITESTER DE 600V-60A-1KOHM	18			2	1.50	53	0
OHMINETRO "SCHAFFER"	22			2	1.50	67	0
PISTOLA HILTI DX400	79			2	1.50	236	0
ROSCADORA ELECTRICA	302			1	1.50	453	0
TORNA ELECTRONEUMATICA TE-17	86			1	1.50	129	0
TURBINETA ELECTRICA	47			1	1.50	70	0
VOLTIAMPERIMETRO 600 VOLTS	26			2	1.50	79	0
WATIMETRO DE 120-600 V CLASE 05	55			2	1.50	164	0
TOTALS						3,201	0

## - HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	PLAZO		COSTO
		CANT	MESES	
		No. OPER.	3	
		No. SOLD. :	1	
		PERS/ACT. :	12	
		PLAZO	1.50	
ANDAMIO (CUERPO)	36	10	1.50	533
BANCO DE FIERRO PARA TRABAJO	9	2	1.50	27
CAJON METALICO P'HERRAMIENTAS.	7	2	1.50	21
CORTATUBO 1/8" A 2" RIGID	12	1	1.50	17
CORTADOR DE TUBO DE COBRE	9	2	1.50	27
ESCALERA DE ALUMINIO DE 6 MTS.	44	3	1.50	200
ESTUCHE DADOS	89	3	1.50	400
ESTUCHE HERRAM. INSTRUMENTISTA	52	6	1.50	464
EXPANDIDOR TUBO COBRE 1/8-5/8"	15	3	1.50	68
PASACABLE DE 1/8"	61	2	1.50	183
RADIO WALKIE TALKIE MOTOROLA	41	2	1.50	123
TARRAJA MANUAL TUBOS 1/2" A 2"	57	1	1.50	86
TENAZA PRENSA TERMINAL 8-500MCC	33	1	1.50	49
TRIPODE CON MORDAZA 1/8"-5"	71	1	1.50	107
<b>TOTALES</b>				<b>2,305</b>

## .- VEHICULOS

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	KM DIA	COMBUST. S/. MES	PLAZO		COSTO	COMBUST.
				CANT	MESES		
CAMION 1313 C/GRUA HIAB 1165	5,199	70	156	1	2.00	10,398	312
<b>TOTALES</b>						<b>10,398</b>	<b>312</b>

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO	TOTALES S/.	INCID.
.- MATERIALES PERMANENTES	0.00	0.0%
- MANO DE OBRA	2.1.- 13,822.02	42.5%
	2.2.- 1,760.72	5.4%
- MATERIALES CONSUMIBLES	700.00	2.2%
- EQUIPOS	ALQUIL 3,201.00	9.8%
	COMB. 0.00	0.0%
- HERRAMIENTAS	2,305.00	7.1%
- VEHICULOS	ALQUIL 10,398.00	32.0%
	COMB. 312.00	1.0%
	<b>32,498.74</b>	<b>100.0%</b>

DESCRIPCION	UND	COST UNI	P.UN.	REND.	CANT.	COSTO
		16V=	1.16	VOLUMEN :		1 GLOBAL
Varios					MATERIALES VARIOS	200
TOTALES						200

## .- EQUIPOS DE CONSTRUCCION

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	HRS/DIA	COMBUST. S/. MES	CANT	MESES	COSTO	COMBUST.
No. OPER. : 2 No. SOLD. : 1 No. PERS : 8 PLAZO 1.44							
BALANZA DE PESO MUERTO	100			1	0.50	50	0
BOMBA PRUEBA NEUMATICA (ELECT)	516			1	0.50	258	0
COMPRESORA DE 700 P3	2,610	10	1000	1	0.50	1,305	500
EQUIPO DE CORTE X-31	22			1	1.44	32	0
ESMERIL ELECTRICO ANGULAR	32			1	1.44	47	0
MAQ.SOLDAR A RECTIFICADOR 400 A	103			1	1.44	149	0
REGISTRADOR PRESION Y TEMPERAT.	109			1	1.00	109	0
TABLERO DISTRIBUCION ELECTRICA	82			1	1.44	119	0
TABLERO PARA TOMA DE FUERZA	69			1	1.44	99	0
TURBINETA ELECTRICA	47			1	1.00	47	0
TOTALES						2,215	500

## - HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TARIFA MENSUAL	CANT	MESES	COSTO
No. OPER. : 2 No. SOLD. : 1 PERS/ACT. : 8 PLAZO 1.44				
BOTELLA DE ACETILENO	12	1	1.44	17
BOTELLA DE OXIGENO	12	1	1.44	17
CAJON METALICO P'HERRAMIENTAS.	7	1	1.44	10
CORTATUBO 1/8" A 2" RIGID	12	1	1.44	17
ESCALERA DE ALUMINIO DE 6 NTS.	44	1	1.44	64
ESTUCHE DADOS	89	1	1.44	128
ESTUCHE HERRAM. TUBERO	22	1	1.44	32
ESTUCHE HERRAM. MONTAJE	41	1	1.44	59
ESTUCHE HERRAM. INSTRUMENTISTA	52	1	1.44	74
EXPANDIDOR TUBO COBRE 1/8-5/8"	15	1	1.44	22
PASACABLE DE 1/8"	61	1	1.44	88
RADIO WALKIE TALKIE MOTOROLA	41	1	1.44	59
TARRAJA MANUAL TUBOS 1/2" A 2"	57	1	1.44	83
TARRAJA MAN.PERNOS-TUBOS 1/2"-2"	59	1	1.44	85
TENAZA PRENSA TERMINAL 8-500MCC	33	1	1.44	47
TOTALES				802

Los cuadros muestran los cálculos y resultados en forma clara y las etiquetas son concisas pero elocuentes, sin embargo creo pertinente, a efectos de aclarar aún más los conceptos, precisar lo siguiente:

a) La mecánica del cálculo de los costos directos de las obras civiles (Cuadro N°12) difiere un tanto de la mecánica del de las obras electromecánicas en cuanto a su secuencia. En las obras civiles es muy común el trabajar primeramente utilizando el concepto de los análisis de costos unitarios, luego obtenido el costo unitario directo, éste se multiplica por el metrado total de la respectiva partida, En en Cuadro N°12 de la Obra civil, he procedido de esta manera.

En las obras electromecánicas el análisis del costo se efectúa en cambio, de modo global, es decir por el volúmen total de la partida, ó en el caso nuestro por el metrado total de la Fase de Costo correspondiente.

Esta diferencia reitero, obedece solo a la secuencia tradicional de los cálculos, más no a la esencia misma del cálculo que fundamentalmente es la misma.

b) En los cuadros de costo directo de las fases electromecánicas se puede apreciar en forma cabal la utilización de los conceptos y procedimientos de cálculo descritos líneas arriba desde el párrafo "i" hasta el "v".



No obstante existen algunos números ó constantes en los cuadros que es preciso los aclarar.

Por ejemplo en la Mano de Obra , en la columna de viáticos existe el número 3.5 que representa el viático diario que se le entregaría al personal obrero para su alimentación. En la columna útiles de protección existen dos números, 39.87 y 36.86 que son los costos estimados mensuales de los útiles de protección para un soldador y para el resto de personal respectivamente, según cálculo del Cuadro Nº 18. En la columna de Pasajes el número 12.00 representa el costo del pasaje terrestre ida + vuelta a Marcona vigente a Enero 92', es preciso resaltar que para el cálculo del presente rubro se considera que el personal rotornará de desacanso a Lima cada dos meses lo cual es bastante usual en este tipo de Obras. En la columna de estadía se considera el número 4.00 como el costo de la habitación en hotel "apropiado" para el personal obrero asignado desde Lima.

Así pues hemos culminado con el cálculo del Costo directo que, para el total de la Obra del presente proyecto será según el siguiente resumen general:

RESUMEN COSTO DIRECTO

DESCRIPCION	MONTO EN S/.
01 Obras Civiles	24,420.08
02 Desmontaje caldera actual	51,256.45
03 Montaje mecánico nueva caldera	263,698.53
04 Colocación de refractarios, del aislamiento y Pintura de acabado	12,113.49
05 Instalaciones Eléctricas	32,498.74
06 Pruebas y Puesta en marcha	18,915.73
	=====
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>402,903.02</b>

El Costo Indirecto

Este rubro está conformado por todos aquellos costos que intevienen "indirectamente" en la ejecución de una Obra, es decir son aquellos recursos que no intevienen en el proceso en sí de construcción, como el soldar, vacear concreto, pasar conductores, etc.

Este Costo estará conformado entonces por recursos tales como:

La Supervisión (Ingenieros, Supervisores,  
Administradores, etc.)

Movilización y desmovilización

Camionetas y vehículos para compras, traslados  
etc.

Alquiler de casas y/o alojamientos para el  
personal indirecto

Gastos varios, como pago del servicio telefónico,  
de la luz, correo , útiles de escritorio, etc.

Gastos fijos, etc.

Estos costos generalmente no se discriminan por fases de costo, sino que se calculan para el conjunto de la obra y para el lapso total de la Obra, teniendo como fuente de información la experiencia del "constructor" en asignar los adecuados y suficientes recursos para la culminación exitosa de los trabajos.

Para el caso del presente proyecto he considerado la duración total de la Obra, es decir de los trabajos que estarán bajo la responsabilidad de la Compañía O2, los 16 meses que se calcularon mediante el "Primavera" en el Programa General de Ejecución de Obras, traducido en el Diagrama de Barras de la ilustración N°17. Obviamente no todos los recursos indirectos necesitan estar asignados los 16 meses , sino que dependen de la curva de personal a supervisar. Esto se puede apreciar claramente en el caso de los supervisores cuya asignación ó permanencia en obra

está en función directa de la duración de los trabajos de especialidad que les corresponderá supervisar.

En el siguiente Cuadro N°19 hemos calculado mediante el LOTUS, el costo indirecto con todos los recursos requeridos para la ejecución exitosa de las Obras.

Al igual que los otros cuadros el mismo es bastante elocuente y los resultados y cálculos se explican por sí solos mediante las "etiquetas" correspondientes.

Importante es también precisar que los GASTOS FIJOS no dependen del programa ó duración de las obras, sino del monto estimado del costo de los mismos, al no conocerse este aún he estimado el mismo a efectos de calcular este costo, luego por iteraciones sucesivas se podría exactamente calcular este rubro.

## CUADRO No 19

ANALISIS DEL COSTO INDIRECTO  
PARA EL CONJUNTO DE LA OBRA

COSTOS ESTIMADOS AL 31.01.92							CUADRO ANEXO		
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	MESES	SUELDO PROMEDIO	COSTO/MES SOLES	COSTO TOTAL SOLES	VIATICOS ; TOTALES	CANTIDAD VIAJES	PASAJES TOTALES
-	Habitacion Jefe de Obra en Hotel San Juan	1.0	14.00	meses	300.00	4,200			
-	Hab. Camp. Empleados en San Nicolas	1.0	61b		2,000.00	2,000			
-	Muebles y Enseres de Caspamento empleados	1.0	61b		1,000.00	1,000			
SUB-TOTAL						26,745			
4.0 VEHICULOS Y EQUIPAMIENTO					Soles/mes				
-	Camioneta Toyota Doble Cabina	1.0	16.0	meses	1,144	18,299			
-	Camioneta Toyota Doble Cabina	1.0	6.0	meses	1,144	6,862			
-	Eq. Radio Stoner SSR 100 + Estabilizador	1.0	14.0	meses	169	2,366			
SUB-TOTAL						27,527			
5.0 CONDUSTIBLES					Soles/mes				
-	Camioneta Toyota Hi-Lux	150.0	16.0	meses	2.00	4,800			
-	Camioneta Toyota Hi-Lux	150.0	6.0	meses	2.00	1,800			
SUB-TOTAL						6,600			
6.0 INSTALACIONES TEMPORALES					Soles/m2				
-	Caseta para Oficina Tecnico-Administrativa	1.0	36.0	m2	80	2,880			
-	Caseta para el Almacen Cerrado	1.0	80.0	m2	60	4,800			
-	Habilitación almacén abierto	1.0	150.0	m2	20	3,000			
-	Compra de Muebles y enseres oficinas	1.0	61b		0	1,500			
SUB-TOTAL						12,180			
7.0 GASTOS Y CONSUMOS VARIOS					Soles/mes				
-	Papeleria y Utiles de Oficina	1.00	14.0	meses	100	1,400			
-	Copias y Fotocopias	1.00	14.0	meses	40	560			
-	Llamadas telefónicas	1.00	14.0	meses	80	1,120			
-	Correo	1.00	14.0	meses	50	700			
-	Gastos Varios	1.00	14.0	meses	100	1,400			
SUB-TOTAL						5,180			
TOTAL COSTO INDIRECTO VARIABLE						293,510			



## CUADRO No 19

ANALISIS DEL COSTO INDIRECTO  
PARA EL CONJUNTO DE LA OBRA

		COSTOS ESTIMADOS AL 31.01.92			CUADRO ANEXO		
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	MESES	SUELDO PROMEDIO	COSTO/MES SOLES	COSTO TOTAL SOLES	VIATICOS CANTIDAD PASAJES ; TOTALES VIAJES TOTALES
				Monto Estimado			
E.- GASTOS FIJOS				Total Proyecto			
	- Bonos BANVIP ( 1.5 % )	1.50%	100.00%	4,100,000	61,500		
	- Timbres CIP-CAP ( 0.42% )	0.42%	100.00%	4,100,000	17,220		
	- SENCICO ( 0.5% )	0.50%	100.00%	4,100,000	20,500		
	- Impuesto a cuentas corrientes (0.75 %)	0.75%	100.00%	4,100,000	30,750		
	- Fianza Fiel Cuapliamiento ( 18 meses )	4.00%	5.00%	4,100,000	12,300		
	- Fianza Buen Funcionam ( 12 meses )	4.00%	20.00%	4,100,000	32,800		
	- Fianza Adelanto ( 18 meses )	4.00%	20.00%	4,100,000	49,200		
TOTAL COSTO INDIRECTO FIJO					224,270		
TOTAL COSTO INDIRECTO		0.00			517,780		

### 7.3.- Resumen de costos totales y Precio Final.-

Culminados los cálculos de los costos de los suministros y los de construcción asociados al proyecto de Suministrar é Instalar la nueva Caldera Acuotubular N<sup>o</sup>1 para la Planta de San Nicolás en Marcona, resumiré en el Cuadro N<sup>o</sup>20, que a continuación presento, el conjunto de los resultados calculados. Al costo total obtenido se le afectará luego con el correspondiente porcentaje de utilidad que se suele utilizar en este tipo de proyectos para obtener de este modo el precio final del proyecto. Este monto será luego el que se negociará con el Cliente Hierro-Perú para la suscripción del Contrato correspondiente.

## CUADRO Nº 20

RESUMEN COSTOS Y ESTABLECIMIENTO DEL PRECIO FINALPROYECTO DE ADQUISICION E INSTALACIONCALDERA ACUOTUBULAR Nº1

I.- <u>Costo de Adquisición.-</u>	US\$
I.1 Costo del Suministro FOB	2'675,200
I.2 Costo del flete al Callao	110,000
I.3 Costo de seguros	15,000
Subtotal I en US\$ Americanos	2'800,200
II.- <u>Costo del Montaje.-</u>	S/.
II.1.- Costo Directo	402,903.02
II.2.- Costo Indirecto	517,780.00
	-----
Subtotal II en Nuevos Soles	920,683.02
(*) Subtotal II en US\$ Americanos	920,683
III.- <u>Costo Total (I+II) en US\$</u>	3'720,883
IV.- <u>Utilidad 10%</u> en US\$	372,088
	=====
V.- Precio de Venta Final en US\$	4'092.971
(estimado con costos a Enero 92)	=====
No Incluye el IGV	

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hasta aquí, he concluído con el desarrollo de los siete capítulos que constituyen la presente Tesis. Efectuados los análisis y los estudios de las materias desarrolladas en el presente trabajo, a continuación detallaré las conclusiones y luego ciertas recomendaciones pertinentes:

### Conclusiones.-

1.- Importante fué el corroborar en Marcona, la agobiante necesidad de energía eléctrica que existe en todo el complejo de Hierro-Perú. La entrega de energía por parte de Electroperú desde el sistema interconectado es limitada y restringida. Resulta crucial por tanto, el impulsar y ejecutar los proyectos de reparación de la caldera N02 y la reposición de la caldera N01. Como lo mencioné en la Introducción, las turbinas y el resto de equipos de la planta térmica no presentan daños serios.

2.- El ASME Power Boiler Code ratificó ser una valiosa herramienta de consulta a efectos de ejecutar el diseño de calderas acuotubulares de gran potencia. Sus artículos y normas garantizan idoneidad en el Diseño y fundamentalmente garantía en la operación confiable y eficiente de los aparatos que conforman la unidad. Analizando las fórmulas planteadas por la ASME en su

sección I, se puede concluir que son básicamente similares a las estudiadas durante los cursos de diseño mecánico en la universidad, pero ajustadas mediante adecuados factores y apropiados monomios (fruto de la experiencia de años de diseño y operación) de modo que garanticen confiables resultados operativos.

3.- Los resultados de los cálculos térmicos y de transferencia de calor, respecto de los ratios parciales obtenidos, presentaron consistencias adecuadas cuando fueron comparados con los que presentan los libros y manuales especializados. Por ejemplo la calculada temperatura media de los productos de combustión en el hogar, es bastante similar a los precisados en ciertos gráficos del Manual de Marks. Esto es de la mayor importancia ya que los cálculos efectuados denotan coherencia y realismo.

4.- A lo largo de los cálculos termodinámicos, de transferencia de calor y de diseño mecánico, se utilizaron racionalmente las medidas de los espacios físicos disponibles para la actual caldera N<sup>o</sup>1. Este mismo espacio sería el que ocuparía nuestra caldera proyectada. Se concluye por tanto que los resultados son adecuados ya que la caldera proyectada en la presente Tesis ocupará sin problemas el espacio físico disponible cuando se retire ó desmonte la actual caldera inoperativa.



5.- En cuanto a los cálculos de transferencia de calor y de diseño mecánico, la necesidad de datos prácticos a efectos de ir ejecutando y ajustando los cálculos, implicó el recurrir a una restringida bibliografía especializada existente en nuestro medio y sobre todo recurrir a los datos de una empresa que diseña estos equipos (Distral - Colombia). Debo señalar, sin embargo, que esta última información fué limitada y recelosamente entregada, de allí que considero importante concluir que solo efectuando minuciosos y prolijos trabajos de investigación utilizando unidades a escala, se podrá disponer de un adecuado y confiable banco de información práctica, que siempre se requerirá al momento de diseñar equipos similares al del presente trabajo. Indudablemente esto requerirá Inversión, que dependerá sustancialmente de un adecuado marco legal y sobre todo de un consistente desarrollo del mercado energético nacional, que originará interés en inversionistas privados en el sector específico de calderas de gran producción.

6.- Refiriéndome a los equipos especializados, tales como el calentador regenerativo Ljunstrom, los quemadores y los sistemas de encendido y control de llama, el exacto conocimiento del diseño de los mismos está a cargo de empresas especializadas que existen en el mundo, y que tan solo dedican su tecnología y su investigación científica en desarrollar aquellos equipos. Tal es el caso de "Bailey Instruments CO.", empresa americana que solo se

dedica al diseño y producción de sistemas de control para sistemas industriales, y dentro del rubro para calderas de gran producción, esta empresa cuenta por tanto con la tecnología de punta en el desarrollo de sistemas de control y de seguridad de llama por lo que resultaría iluso el pretender mediante esta tesis intentar un diseño completo de aquellas unidades especializadas.

Importante es, sin embargo, el determinar correctamente la técnica de su operación y las variables a considerar al momento de la selección y adquisición respectiva.

7.- En los capítulos correspondientes a los cálculos térmicos y de transferencia de calor y en el de diseño mecánico se pretendió que el desarrollo de la Tesis implique un equilibrio entre las materias que si eran pertinentes el ser desarrolladas detalladamente y aquellas que solo implicaban la selección de equipos y/o accesorios. Esta mixtura en los cálculos ha sido provechoso en cuanto a que los resultados reflejan realidades operativas concretas y no formalidades teóricas.

8.- Observamos que el costo estimado del proyecto es de unos US\$ 4'000, monto que es financiable bajo la coyuntura actual, utilizando por ejemplo las líneas de crédito existentes en el contexto latino-americano. Instituciones como la Corporación Andina de Fomento, pueden financiar estos proyectos. Es importante reiterar

que son 20 MW los que se pueden volver a tener disponibles en la planta , por aquel monto de inversión

En cuanto al plazo de ejecución del proyecto, calculado en aproximadamente 24 meses ó dos años, es posible - si la gerencia del proyecto lo analiza y evalúa bajo un estudio de factibilidad final que abarque otras variables ser reducido hasta una duración total de unos 20 meses, lo que implicaría ritmos acelerados en la procura y la fabricación de las partes, a ser ejecutado por el suministrador, obviamente por un sobrecosto en los montos del suministro que sería negociado y evaluado por el Gerente del Proyecto a cargo.

### Recomendaciones

1.- De necesidad prioritaria resulta el utilizar el ASME POWER BOILER CODE, al momento de proyectar calderas como la del presente proyecto. Considero que la Facultad debería potenciar la utilización de este manual de manera más concluyente en algún curso obligatorio de la especialidad.

2.- Este trabajo podría ser una herramienta para un futuro Gerente de Proyecto, a efectos de comparar las ofertas tanto técnicas como económicas que se presenten al momento de la Licitación y sobre todo como herramienta de consulta cuando el proyecto empiece a ejecutarse.

3.- Es incuestionable las ventajas que el impulsar este proyecto y el de Reparación de la Caldera N92 implicarían. Dada la deficitaria coyuntura energética nacional, realmente tan agobiante, es impostergable el tomar una desición al respecto para dar inicio a estos proyectos. El País así lo reclama.

---

## Bibliografía

- STEAM Its generation and use                   The Babcock & Wilcox  
Company
- ASME BOILER AND PRESSURE                   The American Society of  
VESSEL CODE - SECTION I                   Mechanical Engineers  
Rules for construction of                   A.S.M.E.  
Power Boilers
- MARKS Manual del Ingeniero                   Theodore Baumeister  
Mecánico - 8ava edición                   Eugene A. Avallone  
Tres Volúmenes                   Theodore Baumeister III
- CENTRALES DE VAPOR                   G. A. Gaffert
- PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA                   Frank Kreith  
DE CALOR
- FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA                   Gordon J. Van Wylen y  
Richard E. Sonntag
- MANUAL DEL CONSTRUCTOR DE                   H. Dubbel  
MAQUINAS - 11ava edición
- Dos volúmenes
- Manual of STEEL CONSTRUCTION                   A.I.S.C.  
NINTH EDITION
- PRIMAVERA PROJECT PLANNER                   Primavera Systems Inc.  
Reference Manual