



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Metodología para la Evaluación de Pérdidas  
Termoenergéticas en una Industria de Proceso  
Continuo

T E S I S

Que para obtener el título de:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

Azocar Díaz Jorge Eduardo

Chire Casquino Carlos Leonel

Fuentes Yáñez Gonzalo

Rosa Méndez Ignacio de la

Vázquez Bedolla Demetrio



Dir. Ing. MANUEL ENRIQUEZ POY

México, D. F.

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

- 1.0).- INTRODUCCION
- 2.0).- APROVECHAMIENTO ENERGETICO DEL CALOR DENTRO DE UN PROCESO CONTINUO.
  - 2.1).- APOYO METODOLOGICO PARA LA REALIZACION DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA EN LAS INDUSTRIAS DE PROCESOS.
- 3.0).- GUIA RESUMEN PARA LA EVALUACION DE PERDIDAS TERMO-ENERGETICAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.
- 4.0).- ANALISIS PARTICULAR DE CASOS.
  - 4.1).- GENERACION DE VAPOR.
    - 4.1.1).- DESCRIPCION DEL EQUIPO.
    - 4.1.2).- ANALISIS TERMODINAMICO DEL CICLO RANKINE. DETERMINACION DE VARIABLES.
    - 4.1.3).- ELEMENTOS DE MEDICION.
      - 4.1.3.1).-ESTADO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MEDICION
      - 4.1.3.2).-CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DISPOSITIVOS AVANZADOS DE MEDICION Y SU CAMPO DE APLICACION EN LA INDUSTRIA.
    - 4.1.4).- ANALISIS DE OPERACION, RELACIONES CAUSA/EFECTO.
    - 4.1.5).- METODOLOGIA DE EVALUACION.
      - 4.1.5.1).- CALCULO DE EFICIENCIA.
      - 4.1.5.2).- RECOMENDACIONES Y MEJORAS COMPLEMENTARIAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA TERMICA EN

## LA GENERACION DE VAPOR.

4.1.5.3).- PROGRAMA Y CALCULO NUMERICO.

4.2).- INTERCAMBIO DE CALOR.

4.2.1).- DESCRIPCION DEL EQUIPO

4.2.2).- ANALISIS TERMODINAMICO.DETERMINACION -  
DE VARIABLES.

4.2.3).- ELEMENTOS DE MEDICION

4.2.3.1).- PROCEDIMIENTO

4.2.3.2).- ESTADO COMPARATIVO DE LOS DIFE  
RENTES SISTEMAS DE MEDICION.4.2.3.3).- CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DIS  
POSITIVOS AVANZADOS DE MEDI---  
CION Y SU CAMPO DE APLICACION  
EN LA INDUSTRIA.

4.2.4).- ANALISIS DE OPERACION.

RELACIONES CAUSA/EFECTO.

4.2.5).- METODOLOGIA DE EVALUACION

4.2.5.1).- PERDIDAS DE ENERGIA POR RADIA  
CION Y CONVECCION LIBRE.4.2.5.2).- CORTO CIRCUITO ENTRE LAS DOS -  
CORRIENTES DE FLUIDOS.4.2.5.3).- DETERMINACION DE INCRUSTACION  
POR DENTRO DE LOS TUBOS.4.2.5.4).- SOLUCION DE PROBLEMAS EN TRAM  
PAS DE VAPOR.

4.2.5.5).- PROGRAMA Y CALCULO NUMERICO.

5.0).- CONCLUSIONES.



## 1.0)- I N T R O D U C C I O N

El buen uso y conservación de la energía -- dentro de los procesos industriales ha sido tarea primordial para toda aquella persona que se mueva dentro de -- las ramas afines a la ingeniería; aunque, si nos remitimos a la realidad, veremos con desencanto que este es un aspecto apenas cuidado, no obstante contarse con suficiente acervo bibliográfico, que va desde simples recomendaciones, hasta verdaderos tratados para optimizar el uso racional de los recursos energéticos con que la industria cuenta.

La motivación fundamental al plantear el desarrollo de este seminario de tesis, fué la de ubicar al pasante dentro de la grave realidad a la que se enfrentará con su introducción definitiva al medio productivo -- del país, permitiéndole palpar en forma mas que objetiva las graves deficiencias que presentan las diferentes industrias básicas, analizadas desde un profundo punto de vista termoenergético.

Para comprender mejor esta realidad, se enfocó el estudio hacia una industria de proceso continuo de particular importancia para el país, como lo es la azucarera, fuente de ingresos en el pasado y con fuerte dependencia del exterior en estos momentos.

Mediante las principales áreas que integran el corazón energético de un ingenio azucarero:

- ° Generación de vapor
- ° Intercambio de calor

Se cubrieron a nuestro juicio dos objetivos fundamentales:

- 1°) - Interiorizar al estudio dentro de la - profunda problemática de una industria de proceso continuo, y
- 2°) - Conocer mas de cerca el equipamiento - industrial con que se cuenta.

De esto, salieron a la luz una serie de recomendaciones sencillas, todas enfocadas hacia una mejor y más eficaz medición del calor y su aprovechamiento.

Las metodologías propuestas esperamos se utilicen en su profundidad por el personal técnico que diariamente opera los distintos equipos que integran un --- complejo agroindustrial azucarero, y lo que es más, sentimos que servirán para tomar conciencia de la necesidad que esta generación tiene de corregir el efecto de los - dispendios cometidos por buñtes disfrazados de prominentes profesionales y hombres de empresa.

Ing. Manuel Enríquez Poy  
Director del Seminario  
Octubre de 1983.

## 2.0) - APROVECHAMIENTO ENERGETICO DEL CALOR DENTRO DE UN PROCESO CONTINUO.

Cada vez aumenta más el número de plantas industriales, grandes y pequeñas, que están tratando de ganar la batalla de la energía en los países en desarrollo. La fuerza impulsora económica no es en este caso solamente el mejoramiento de las utilidades, sino el deseo de paliar los defectos desestabilizadores que las plantas de gran consumo de energía (como, por ejemplo, para la producción de azúcar, acero, aluminio, amoníaco o celulosa y papel) pueden tener sobre toda la economía nacional. En los países en desarrollo la industria suele llegar a consumir hasta las dos terceras partes del total de los recursos nacionales de energía (1).

Los proyectos de conservación de la energía, comenzados en otras latitudes inmediatamente después del sorpresivo aumento del precio del petróleo en 1973, adoptaron en gran parte la forma de programas de ordenación del consumo que obligaban a apagar las luces al terminar el trabajo, a instalar cubiertas de aislación en torno de equipos y tuberías, a taponar las pérdidas de aire y a poner a punto los equipos de acondicionamiento de aire. La adopción de esas medidas requería muy poca inversión de capital, una inversión que se recupera rápidamente.

Lamentablemente en nuestro país, producto de las a todas luces erróneas políticas energéticas, esto no pasó a ser más que buenos deseos, dado el artificial aumento de las reservas de hidrocarburos.

Lo que se pretende con un programa de conservación de energía es un mejor uso de ésta, evitando, desde luego, sus pérdidas y desperdicios; pero, sobre todo, buscando sea empleada en forma segura y provechosa para el país en su conjunto.

Para desarrollar exitosamente un programa de conservación de energía, es necesario:

- A) El convencimiento y apoyo firme de la Dirección General de la Empresa, y su compromiso de soportar - el programa.
- B) El establecimiento de un comité coordinador, con - las siguientes funciones básicas:
  - Establecer objetivos y metas (corporativas, en - su caso).
  - Definir el glosario de términos, a fin de evitar dualidades.
  - Especificar las unidades que se emplearán para - medir resultados. En términos generales, es re- comendable fundamentarse en el consumo específi- co de un período de referencia (el año inmediato anterior al programa); es decir, considerar: unidades de energía/unidad de producción, (Kcal/t, lt. de petróleo/ton. de caña molida).
  - Revisar los programas de las unidades producti- vas, reorientándolos cuanso se alejen de los objetivos y metas de la empresa.
  - Coordinar la realización de juntas de trabajo, - estableciendo la periodicidad y el temario a se- guir.

- Diseñar los formatos para consolidar los objetivos y metas, los avances y los resultados del programa.
- Proveer de asistencia técnica especializada, apoyándose en recursos internos y externos.
- Difundir la información relacionada con la conservación de la energía.

C) La estructuración de los comités de Planta. En realidad, estos grupos son los responsables directos del buen uso de la energía en su unidad industrial, con las siguientes funciones principales:

- Determinar los objetivos y las metas de la unidad productiva, siguiendo las directrices del comité coordinador.
- Establecer el programa y evaluarlo técnica y económicamente.
- Desarrollar estudios del uso de la energía en los diferentes procesos de la Planta.
- Preparar y circular los informes necesarios, de acuerdo con los programas de revisión y consolidación de resultados.
- Participar activamente en las mesas redondas, para intercambiar experiencias con los coordinadores de otras unidades industriales.

#### Programas específicos. (2)

Se identifican tres niveles del Programa de Conservación de Energía; su aplicación depende del consu

mo relativo de la Planta, de la madurez del comité y de los recursos disponibles para desarrollar el programa.

A) Programa básico del uso racional de energía:

Este programa considera las acciones tendientes a reducir el desperdicio de energía. Prácticamente no requiere de inversión, ni de recursos humanos especializados con el grado de deterioro de la instalación (entre más descuidada esté una unidad, podrá obtener mayores beneficios al aplicar este programa; de no llevarlo a cabo, tendrá pérdidas cuantiosas).

Acciones típicas:

- Eliminar fugas de vapor, agua y aire.
- Corregir el bajo factor de potencia.
- Retornar condensados de vapor.
- Mantener limpios los tragaluces y ventanas a -- fin de aprovechar al máximo la iluminación natural.
- Establecer horarios para encendido y apagado de luminarias (además de mantener limpios los difusores y los tubos lumínicos).
- Recubrir superficies calientes, para minimizar pérdidas por radiación.
- Establecer balances globales de energía.
- Mantener estadísticas actualizadas de la generación y el consumo de servicios.
- Generar los informes requeridos por los diferentes grupos relacionados con este programa.

## B) Programa de uso racional de la energía:

En este nivel se busca recuperar la energía desperdiciada; para conseguirlo, es necesario realizar estudios específicos y ejecutar inversiones moderadas. Los beneficios de este programa dependen, en general, de la bondad del diseño de los equipos y sistemas de la Planta.

### Acciones típicas:

- Aprovechar la fracción vapor de las purgas de calderas.
- Atrapar la energía contenida en los gases calientes de hornos y calderas, mediante la instalación de precalentadores de aire y economizadores.
- Precalentar corrientes de proceso, a expensas de fluidos que sería necesario enfriar por otros medios (empleando agua de enfriamiento, por ejemplo).
- Recuperar el agua de enjuague de las resinas de intercambio iónico.
- Efectuar balances de materiales y energía, por línea de producción.
- Determinación de los consumos específicos.
- Adecuar los niveles de iluminación, mediante relocalización de luminarios e instalación de interruptores.
- Generar la información requerida por los grupos

implicados en el programa.

- Incorporar las acciones tendientes a reducir el desperdicio de energía, ver inciso a).

C) Programa de uso eficiente de energía:

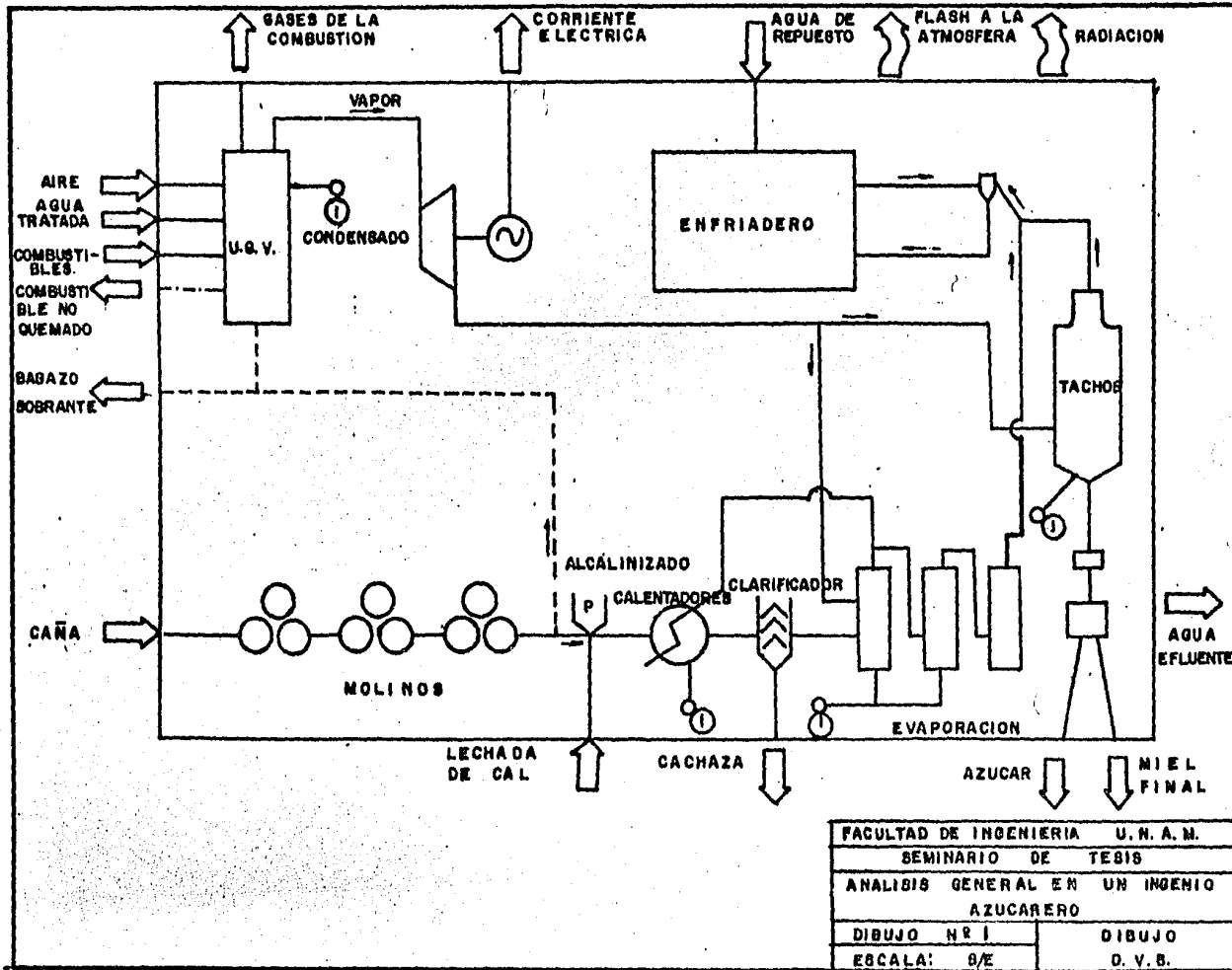
Aunque todos los programas están orientados a mejorar el uso de los servicios, este nivel presenta - las mejores oportunidades para reducir el consumo específico. El llevarlo a cabo requiere la participación de - un grupo que ha alcanzado un alto grado de especialización, y de inversiones mayores. Los logros potenciales son función de la tecnología que se usó para el diseño - de la Planta.

Acciones típicas:

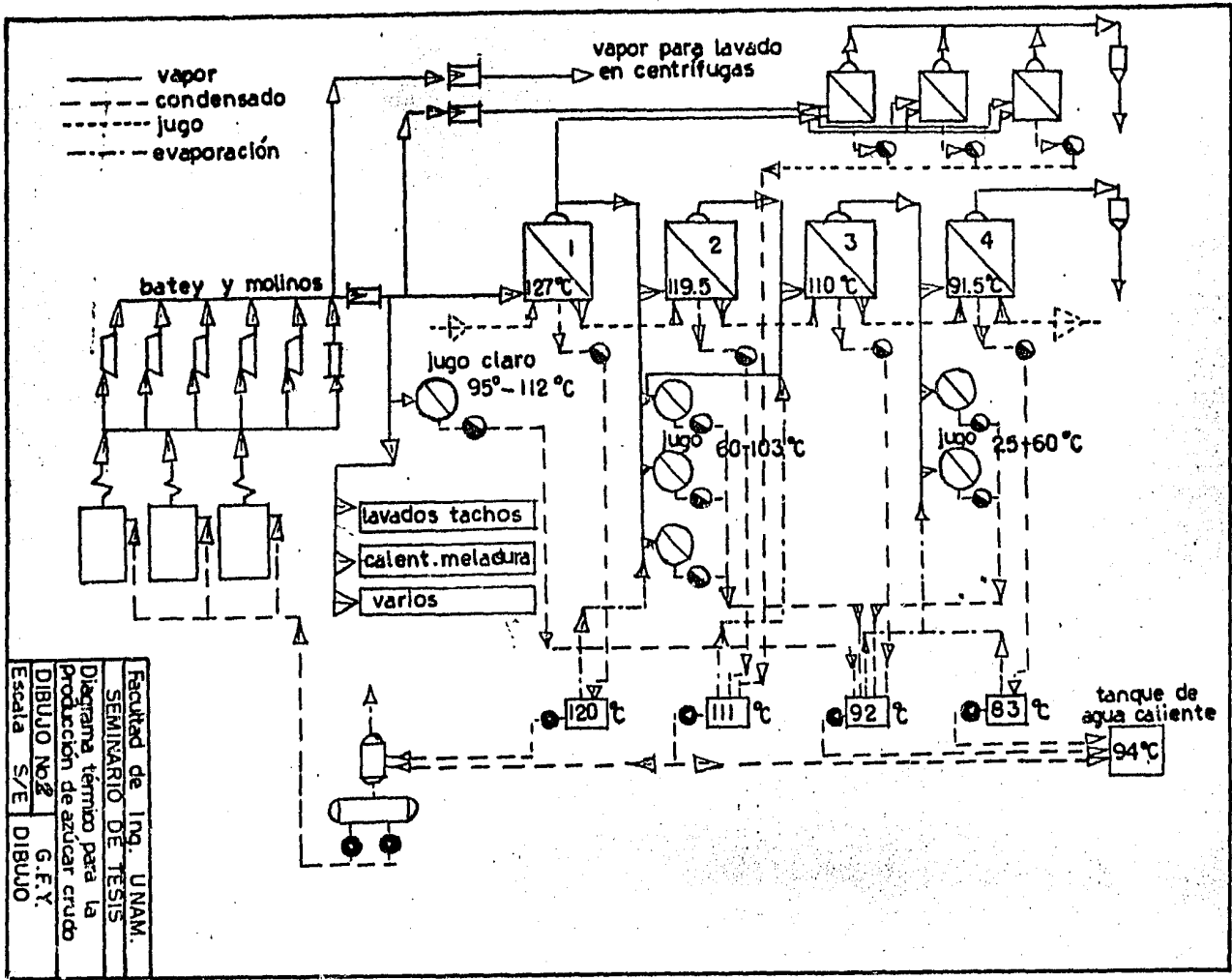
- Modificaciones, o eliminación, de pasos en los procesos;
- Aprovechamiento del calor de las reacciones -- exotérmicas;
- Incorporación del "criterio del uso de energía" en la selección de equipos y accesorios (factores para justificar inversiones);
- Programación de la demanda de potencia, para reducir "picos" de la demanda máxima medida;
- Evaluación de nuevos proyectos de energía, que incluyen otras fuentes no convencionales: helio energética, eólica, etc.
- Evaluación de proyectos de cogeneración;



- Incorporación de las acciones de los dos niveles anteriores, ver A) y B).



FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
SEMINARIO DE TESIS	
ANALISIS GENERAL EN UN INGENIO AZUCARERO	
DIBUJO NR 1	DIBUJO
ESCALA: 0/E	O. V. B.



Facultad de Ing. UNAM.  
 SEMINARIO DE TESTIS  
 Diagrama término para la  
 producción de azúcar crudo  
 DIBUJO No. 2 G.F.Y.  
 Escala S/E DIBUJO

2.1) - APOYO METODOLOGICO PARA LA REALIZACION DE BALAN-  
CES DE MATERIA Y ENERGIA EN LAS INDUSTRIAS DE PRO-  
CESOS. (3)

El balance de energía es la comparación de - las cantidades de energía que se introducen al sistema - que se estudia con la materia que entra, que se le trans-miten durante la operación y que se liberan durante el - proceso, con aquellas cantidades de energía que abando-  
nan al sistema con la masa que sale (al ser absorbida en el proceso), con la que se retira durante la operación y la que se disipa como pérdidas caloríficas.

El balance de materia y energía de una plan-  
ta de procesos es la suma de los balances de materia y -  
energía de los procesos individuales y de los equipos --  
que los efectúan.

Los balances de materia y de energía de las  
plantas de procesos, se pueden calcular con el objetivo  
de preparar balances de materia y de energía para plan-  
tas que se encuentran en operación. Tales balances se -  
basan en las mediciones tomadas en dicha planta. Su fi-  
nalidad es comprobar el proceso, arrojar luz en el caso .  
de pérdidas y, en algunos casos, recopilar datos para el  
diseño de nuevas plantas.

I - Descripción de la tecnología, determinación de los -  
diagramas de flujo conceptuales y división del proceso -  
en operaciones unitarias.

Para establecer los balances de materia y de  
energía de las plantas que operan con procesos químicos,

uno se debe familiarizar completamente con la tecnología de la misma. En el contexto de este tema, entenderemos por la palabra tecnología, como la totalidad de las operaciones del proceso, sus conexiones y su secuencia, desde las materias primas hasta el producto terminado, incluyendo también las operaciones que se efectúan sobre los eventuales materiales de reciclaje.

Luego de familiarizarse con la tecnología, es útil ponerla en la forma de un diagrama de flujo conceptual, el cual nos muestra:

- (a) la composición química de las materias primas, de los productos intermedios y de los productos terminados.
- (b) la secuencia de las operaciones.
- (c) la naturaleza del equipo.

Se debe dividir al proceso en partes, operaciones unitarias o grupos adecuados de operaciones para las que se establecen los balances de materia y energía, y su totalidad da el total del balance para toda la planta. Esta división se hace en el diagrama de flujo conceptual.

II - Balances de materia y de energía de las operaciones unitarias.

- (a) Variabilidad (grados de libertad) de los balances de materia y energía de las operaciones unitarias.

La variabilidad de una operación unitaria es equivalente al número de datos necesario y suficiente --

que se requiere para describir unívocamente a la operación.

Para describir unívocamente a una fase homogénea se necesitan  $m + 2$  datos (donde  $m$  es el número de componentes) puesto que la energía intrínseca y el volumen de la fase se debe determinar sobre y con respecto a las cantidades de todos los componentes, de acuerdo con los principios de conservación de masa, de la energía interna y de la cantidad de movimiento que establece el primer principio de la termodinámica.

En la práctica las fases se describen en términos de las dos propiedades termodinámicas, presión y temperatura, en lugar de las dos mencionadas antes, energía interna (o intrínseca) y cantidad de movimiento. La presión y temperatura determinan unívocamente a la energía interna y a la cantidad de movimiento con el conocimiento completo de las cantidades de las sustancias, estas generalmente se dan en masa.

Para la descripción completa de una operación unitaria se requiere la determinación de la composición y de las características termodinámicas de cada sustancia que entre o salga, como se ha dicho antes, pero se pueden plantear algunas ecuaciones; para estas características es  $C$  y el de ecuaciones es  $E$ , la variabilidad de la operación unitaria será:

$$F = C - E \quad (1)$$

Para determinar al balance de materia y de -

energía de una operación unitaria se debe medir un número de datos independientes igual a la variabilidad  $F$  del sistema.

Es característico de las operaciones estacionarias de la industria química que el suministro de materia y de energía de la operación unitaria es invariante con respecto al tiempo, esto es, las sumas de las cantidades de materias y de energía que entran son iguales a las que salen:

$$\sum_{i=1}^n L_i = 0 \quad (2)$$

y

$$\sum_{i=1}^n L_i h_i = Q + \sum H \quad (3)$$

en donde  $L_i$  es la masa de las fases que entran o salen de la operación unitaria,  $n$  es el número total de las fases,  $h_i$  es la entalpía específica de las fases,  $Q$  es la transmisión de calor entre el sistema y sus alrededores y  $H$  el total de los eventuales calores de reacción, de solución, de mezclado, etc.; (las entradas son mas, las salidas son menos).

Los balances de masa de los componentes individuales son como sigue:

$$\sum_{i=1}^n L_{ij} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

donde  $L_{ij}$  es la masa del componente número "j" en la fase número "i" y m es el número total de componentes.

Un componente no es necesariamente un elemento, sino que puede ser un compuesto, un radical o ion que se mantiene inalterado químicamente durante el proceso.

La figura (1) muestra el esquema principal de una operación unitaria.

El número total de características es:

- (a) la masa de m componentes de n fases  $n \cdot m$
- (b) dos características termodinámicas extensivas de n - fases  $2n$
- (c) la transmisión de calor entre el sistema y sus alrededores
- total  $\frac{1}{n(m+2) + 1}$

El número de ecuaciones es:

- (a) los balances de masa específicos para m componentes  $m$
- (b) el balance de entalpía del sistema  $1$
- total  $\frac{1}{m + 1}$

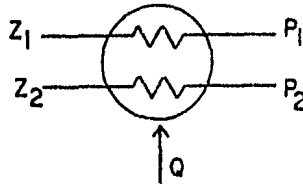
La variabilidad del sistema es:



$$F = n(m+2) - m \quad (5)$$

Ejemplo: Determinación de la variabilidad de un intercambiador de calor:

En este proceso se considera que  $W=0$



-número total de variables (4 corrientes +  $Q$ ):  $4(C+2)+1$  -

-número de restricciones de igualdad independientes: balances de materiales (2 líneas separadas):  $2C$

balance de energía:  $1$

$$\begin{aligned} \text{Variabilidad } F &= \text{Total de \# de g.l.} = 4(C+2)+1 - 2C - 1 \\ &= 2C+8 \end{aligned}$$

En algunos casos no es posible establecer el balance de cada componente. En tales casos, el resto -- que queda indefinido se puede tratar como un solo componente. Por ejemplo: para la mayor parte de los casos -- prácticos se puede describir la evaporación de la industria azucarera usando solo tres componentes: el azúcar, el agua y el "resto".

Por otra parte, en vez del "resto" indefinido se puede usar la masa total de las fases como un componente. Naturalmente, la masa total es una variable independiente sólo en el caso en que la suma de los componentes determinados es menor que el total.

Se pueden establecer fórmulas mas complicadas para tales casos si:

- (a) la operación unitaria se divide en sub-unidades.
- (b) existe algún equilibrio físico y/o químico entre algunas fases.
- (c) si se debe considerar a los compuestos en los que entran y salen del sistema los componentes que pasan - inalterados, además de éstos.

Dichas fórmulas se pueden resumir en la siguiente expresión compleja:

$$F = (M + a + p - k) (m + r + 2) - p m - e f \quad (6)$$

donde a es el número de fases que pasan de una sub-unidad a otra.

e es el número de reacciones químicas que conducen al equilibrio.

f es el número de aquellas fases en las que se alcanzan estos equilibrios químicos.

k es el número de aquellas fases que están en equilibrio físico con cualquier otra fase (si no hay equilibrio en alguna de las sub-unidades, se debe tomar una fase por cada sub-unidad cuando se haga el cálculo de K).

m es el número de componentes, como se ha definido antes (elementos, compuestos invariables, iones o radicales).

$n$  es el número de fases que entran y salen de la unidad, como se ha definido antes

$p$  es el número de sub-unidades en que se divide la operación unitaria.

$r$  es la diferencia del número de compuestos (que varían) y de componentes (llamado también el número de reacciones libres).

Si la operación unitaria no se divide en sub-unidades, entonces  $p = 1$  y  $a = 0$ , y si no hay -- equilibrio químico,  $e = 0$ .

Para las fases gaseosas es necesario la determinación de ambos parámetros intensivos: presión y temperatura. De esta manera, el número de datos necesarios en la práctica para establecer los balances de masa y de entalpía es:

$$F' = (n + a + p - K) (m + r + 1) - pm - ef + g \quad (7)$$

donde  $g$  es el número de las fases gaseosas dentro de la operación unitaria.

Para los procesos químicos por "lotes" se tiene la característica de que el abasto de materia y de energía de la operación unitaria es el mismo al principio y al final del ciclo operacional. Por tanto, las ecuaciones (2), (3) y (4) se pueden usar también para -- los procesos por "lotes". La diferencia principal es -- que mientras que las diversas cantidades que se dan en -- los balances son válidas durante cualquier período de -- tiempo, los balances de materia y de energía de los procesos por lotes se pueden establecer únicamente para una

operación cíclica o para un múltiplo entero de la misma. Las ecuaciones (5), (6) y (7) que se han deducido para la variabilidad de las operaciones estacionarias se pueden usar también para los procesos por "lotes", desde luego cuando se toman para ciclos completos. La diferencia más importante entre los dos tipos de operación radica en el hecho que los procesos por "lotes" se puede dividir en sub-unidades no solamente en el espacio, sino también en el tiempo. Generalmente se subdividen en las siguientes partes:

- (a) la introducción de la alimentación a la unidad
- (b) realización de la operación
- (c) la extracción de los productos de la unidad.

Desde luego que esta división tripartita no se puede usar "esquemáticamente" para todos los procesos por "lotes". Puede haber sustancias que se introducen y/o se extraen de la unidad durante la parte operativa (por ejemplo, la "semilla" se alimenta a los tachos y el agua se retira de ellos durante la cristalización del azúcar). Algunas veces se puede subdividir aún más a cada parte de los procesos (por ejemplo, la parte operativa de la cristalización se subdivide en la evaporación, el "sembrado y la cristalización).

Hay un problema especial en el caso de los procesos por "lotes": el del material que se acumula. Puesto que su cantidad, composición y estado termodinámico son los mismos al principio y al final del ciclo, su presencia no influye sobre los balances de materia o de

energía o sobre la variabilidad de la operación. Pero - si ésta se subdivide en mas procesos, el material que se acumula ya ejerce cierta influencia.

Hay una gran variedad de casos de transición entre los procesos puramente estacionarios y los puramente por "lotes". De hecho, no existe la operación puramente estacionaria, puesto que todo equipo se debe parar y echar a andar periódicamente por razones de mantenimiento, etc. En la práctica se considera estacionarios aquellos procesos para los que los "períodos" son despreciables. Por ejemplo, se pueden despreciar los paros y arranques de un evaporador que trabaja mas o menos estacionariamente durante la mayor parte de un año, pero si el mismo evaporador se debe lavar diariamente durante -- dos horas es mejor calcularlo como una operación por "lote" con un tiempo de ciclo de 24 horas.

B.- El establecimiento de los balances.

Los balances de materia y de energía se pueden establecer sin mayor problema a partir de los datos que ya se han procesado. La última tarea por hacer es -- presentarlos con claridad.

Se puede usar un método similar a la contabilidad: se listan separadamente las entradas y las salidas y se muestra para cada una de ellas cuáles fases tienen pérdidas o ganancias con las cantidades de masa y -- energía que pasan de una fase a otra.

Los balances de las operaciones unitarias --

que se hallan separadas en sub-unidades se pueden establecer usando el método de 'contabilidad', se debe destinar tres columnas a las fases que van de una sub-unidad a otra: la columna control debe mostrar los datos de la fase que se transfiere, la columna de la izquierda debe señalar las fases de la primera sub-unidad de donde se originan los componentes, la masa y la energía correspondientes a la fase que se transfiere y la columna de la derecha las fases en las que se transforme la fase que se transfiere al llegar a la segunda sub-unidad.

III Recopilación de los balances de materia y de energía de la planta completa.

Quando se han establecido los balances de masa y de energía de cada operación unitaria de la planta, hay varias formas de recopilarlos. Se pueden preparar balances globales y detallados. El balance detallado es simplemente la reunión de los balances de las operaciones unitarias.

Existen dos formas que son mas convenientes para recopilar los balances de la planta: los diagramas de flujo tecnológicos y los diagramas de Shankey.

Un diagrama de flujo tecnológico "común" -- muestra tanto a los equipos, sus conexiones, todos los flujos de masa que entran y salen de ellos como los datos cuantitativos físicos y químicos que se necesitan. Solo se debe mostrar uno de los equipos que operan paralelamente, pero se debe indicar su número y su tipo respectivo.

El diagrama de flujo tecnológico debe mostrar también los datos de los procesos auxiliares además de los datos del proceso principal.

La otra representación es el diagrama de Shankey, en él se representan con rectángulos (o cuadrángulos) los equipos o las operaciones unitarias y de energía. El grosor de las líneas es proporcional a sus magnitudes. Los flujos de masa y de energía se representan en diagramas separados. La cantidad de los componentes se puede representar en los diagramas que representan los flujos másicos, especialmente si su cantidad no es muy pequeña. Para los componentes que existen en menor cantidad es adecuada la preparación de unos diagramas separados, con una escala distinta.

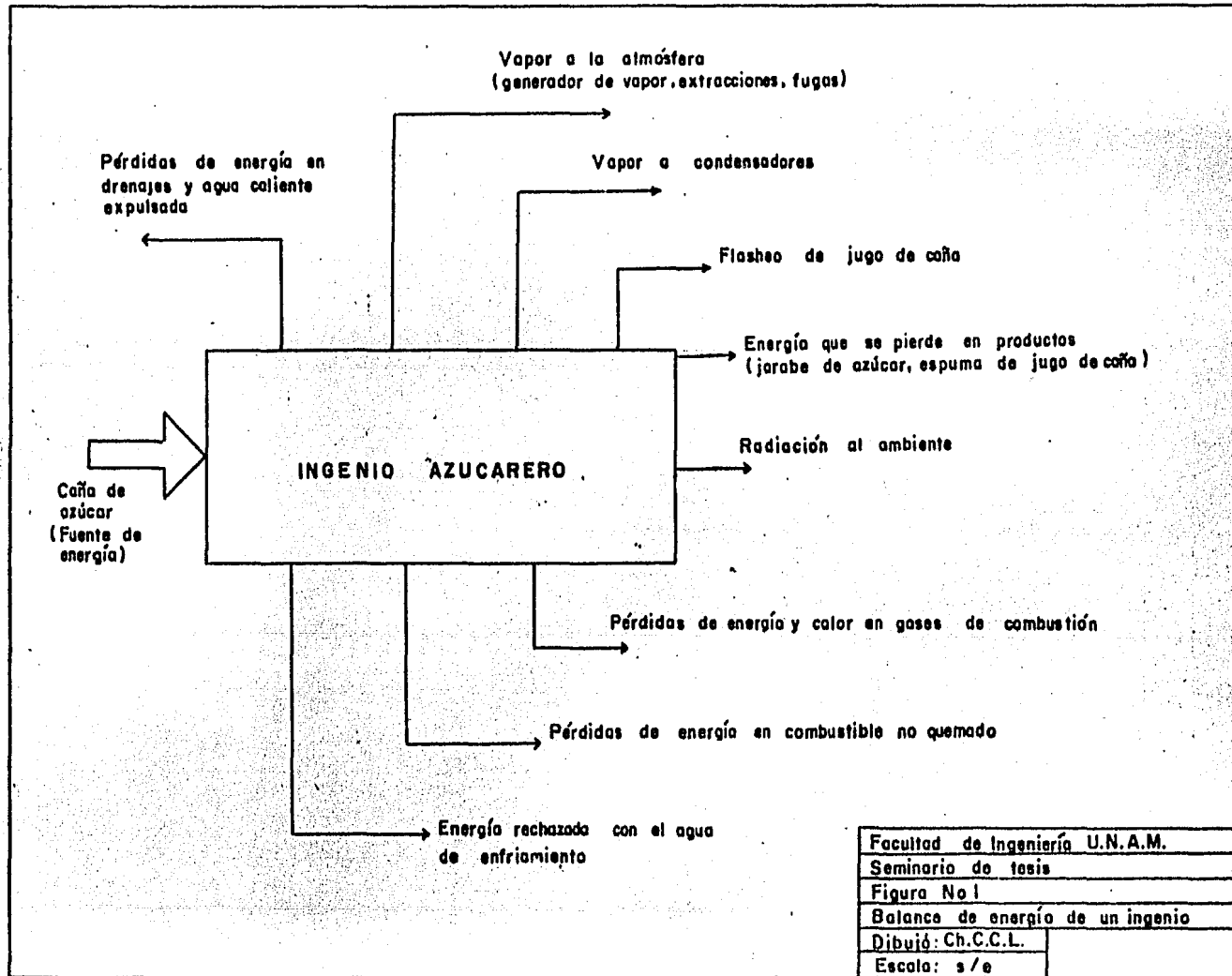
Aún cuando los diagramas de Shankey son muy descriptivos su exactitud es insuficiente (en términos generales) luego es aconsejable también indicar las cantidades numéricamente. Las temperaturas y las presiones se pueden indicar en los diagramas de flujo de energía. Tanto los diagramas de flujo tecnológicos como los de Shankey pueden rotularse con unidades de tiempo (t/h, Mj/h) o de productos (t/t) o (Mj/t).

Una vez recopilados los balances de masa y de energía aún queda el trabajo más importante: la discusión de las conclusiones que se obtienen de ellos.

Si los balances se han establecido para estudiar el contenido energético de la planta, se debe analizar cuales pérdidas energéticas se pueden reducir y a

cuales operaciones unitarias pertenecen o qué cambios --  
tecnológicos pueden reducir el consumo de energía.





3.0) - GUIA RESUMEN PARA LA EVALUACION DE PERDIDAS TERMO  
ENERGETICAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

DEPARTAMENTO.- MOLINOS

OPERACION.- Alimentación de caña

EQUIPO.- Molino

PROBLEMA.- Falta de homogeneidad en la alimentación

CAUSA.- Insuficiente presión en la alimentación -  
de caña al molino, por fluctuaciones en -  
el colchón.

EFECTO.-

- ° Disminución en el régimen de extracción de jugo.
- ° Fluctuaciones en la demanda de vapor por variación de carga en los molinos.
- ° Aumento de la humedad en el subproducto remanente (bagazo), con mermas en su -- aprovechamiento posterior como combustible, al disminuir el poder calorífico.

SOLUCION.- Acondicionar en forma integral o por sepa  
rado a los molinos, sistemas auxiliares -  
para alimentación forzada de caña; por --  
ejemplo:

- ° Cuarta maza

- ° Alimentadores forzados ranurados.
- ° Alimentadores forzados dentados
- ° Etc.

NOTA: En la actualidad, en otros países de mayor grado de desarrollo tecnológico, se están implantando molinos de cinco y seis mazas.

DEPARTAMENTO.- BATEY.

OPERACION.- Conversión de energía térmica a trabajo mecánico.

EQUIPO.- Turbina de vapor (cuchillas y desfibradora).

PROBLEMA.- Disminución en el RENDIMIENTO DE LA MAQUINA TERMICA.

Daños mecánicos al equipo.

CAUSA.-

- a)- Aislamiento térmico deteriorado. Se parte del supuesto de que el equipo viene de fábrica aislado correctamente.
- b)- Obturadores de laberinto (sellos de carbón) gastados o en mal estado.
- c)- Empaques o juntas dañados.
- d)- Presión de vapor baja.
- e)- Enfriamiento insuficiente del aceite.
- f)- Válvulas: Principal y/o auxiliares - dañadas.
- g)- Excesiva condensación interna.

EFECTO.-

- a')- Pérdidas de calor al medio ambiente, con incremento en el consumo.
- b')- Fugas de vapor. Idem caso anterior.

c')-Fugas de vapor. Idem caso anterior.

d')-Aumento en el consumo de vapor

e')-Aumenta la fricción y desgaste de chu  
maceras y sellos.

f')-Fugas de vapor.

g')-Daño mecánico a los álaves y toberas.

SOLUCION.-

Establecer un riguroso sistema de manteni  
miento mecánico, calendarizado.

DEPARTAMENTO.- MOLINOS

OPERACION.- Accionamiento mecánico

EQUIPO.- Turbina, transmisión y molino c/auxiliares.

PROBLEMA.- Sobrecarga y desgaste de equipos.

CAUSA.-

- ° Problema de nivelación y alineamiento
- ° Deficiente lubricación de chumaceras.
- ° Operación deficiente de los cambiadores de calor, sistema: aceite/agua.

EFECTO.-

- ° Desgaste de chumaceras por elevada fricción e insuficiente enfriamiento.
- ° Sobrecarga en los equipos, con el consiguiente aumento de potencia demandada y consumo específico de vapor.
- ° Insuficiente enfriamiento en partes sometidas a giro.

SOLUCION.-

Implantar un rígido control de mantenimiento en este departamento, dada su trascendental importancia para el proceso.

DEPARTAMENTO.- MOLINOS.

OPERACION.- Aplicación de presión hidráulica

EQUIPO.- Pistones hidráulicos en molinos.

PROBLEMA.- Elevada flotación de la maza superior.

CAUSA.-

- ° Problemas de operación en el sistema hidráulico (bomba, líneas, acumuladores, etc.)
- ° Problemas mecánicos en el conjunto: pistón/cabezote/sellos.

EFFECTO.-

- ° Falta de expresión del colchón de caña que se alimenta al molino, con disminución en la extracción de jugo.
- ° Aumento en el consumo específico de vapor en primotores, por desaprovechamiento de la capacidad instalada.

SOLUCION.-

Establecer un riguroso sistema de mantenimiento mecánico para verificar estado de los componentes del sistema hidráulicos; por ejemplo: Ajuste de manómetros indicadores de la presión.

DEPARTAMENTO.- MOLINOS.

OPERACION.- Retroalimentación de bagacillo

EQUIPO.- Pachaquil/molino.

PROBLEMA.- Desajuste de molinos

CAUSA.-

- ° Mal ajuste original.
- ° Daños físicos en las mazas, cuchilla central y raspadores.
- ° Excesiva preparación de la caña.

EFEECTO.-

- ° Deslizamiento en las mazas
- ° Disminución de la capacidad de molienda en el tandem, al tener que retornar un volumen de bagacillo rico aún en sacarosa; el cual fluctúa entre un 8 y un 18% aproximadamente.
- ° Aumento de carga en molino y transmisiones, con el consiguiente incremento en la demanda de vapor a primotores.

SOLUCION.- Tratar por separado el bagacillo, haciéndolo pasar por un molinito que gire a muy baja velocidad.



DEPARTAMENTO.- MOLINOS

OPERACION.- Maceración.

EQUIPO.- Conductores intermedios.

PROBLEMA.-

- ° Insuficiente recuperación y pérdidas elevadas de sacarosa en bagazo.
- ° Incrustación en los equipos de proceso.

CAUSA.-

- ° Deficiente arreglo del sistema de maceración/imbibición.
- ° Utilización de agua con baja temperatura.
- ° Utilización de agua con dureza elevada.

EFFECTO.-

- ° La falta de un balance de molienda, para establecer el mejor arreglo del sistema de maceración, ocasiona que las pérdidas de sacarosa en bagazo se eleven, y que la extracción se reduzca sensiblemente.
- ° Utilizar agua con baja temperatura impide el lavado completo de la sacarosa en el colchón, con el mismo efecto anterior.

- ° En ocasiones se alimenta agua sin tratar con elevada dureza al molino, la cual -- una vez mezclada con el jugo de caña, -- provocará mayor índice de incrustaciones en los intercambiadores de calor del proceso, disminuyendo el coeficiente de --- transferencia de los equipos.

#### SOLUCION.-

- ° Diseñar un arreglo de maceración acorde con la curva de caída de brix de los molinos.
- ° Utilizar agua de imbibición con temperatura cercana a los 80° C. sobre este particular, aunque hay mas posibilidad de - desprendimiento de ceras y grasas con el jugo; su efecto posterior dentro del proceso es menos dañino que la falta de recuperación de sacarosa.
- ° Utilizar agua tratada para alimentar el molino.

DEPARTAMENTO.- PREPARACION DE JUGO.

OPERACION.- Alcalinización

EQUIPO.- Tanque Alcalinizador.

PROBLEMA.- Insuficiente tiempo de mezcla

CAUSA.- Mezcla y disolución deficiente del carbonato de calcio con el jugo.

EFFECTO.-

- ° Disminución en el régimen de velocidad de decantación de sólidos en clarificación.
- ° Fluctuación en el PH del jugo, con aumento de pérdidas de sacarosa.
- ° Incremento en el nivel de incrustación de los intercambiadores de calor (calentadores, evaporadores y tachos), con mayor demanda de fluido calefactor.

SOLUCION.-

- ° Instalar sistema de agitación mecánica con mamparas suficientes que guien la corriente del jugo en régimen turbulento, garantizando un mínimo de 10 minutos de retención y mezcla con la cal.

- ° Utilizar un sistema de control automático de P H, para garantizar regularidad en la medición.
- ° Realizar eficientemente la preparación de la lechada de cal, utilizando materia prima de calidad y sin contaminación por arena y otros sólidos distintos a  $\text{Ca CO}_3$ . Solicitar análisis periódicos de calidad en el producto que se recibe.

## DEPARTAMENTO.- CLARIFICACION DE JUGO

OPERACION.- Alimentación de jugo al clarificador.

EQUIPO.- Tanque Flash

PROBLEMA.- Excesiva pérdida de calor en forma de vapor a la atmósfera.

CAUSA.- Deficiente diseño del tanque flash (diámetro, mamparas y tubería para evacuación de la evaporación a la atmósfera).

EFFECTO.-

- ° Turbulencia dentro del clarificador, al no atenuarse la velocidad de entrada del jugo; ocasionando rebotaduras y mayor tiempo para la clarificación.
- ° Pérdida de temperatura, con la consiguiente demanda adicional de calor.

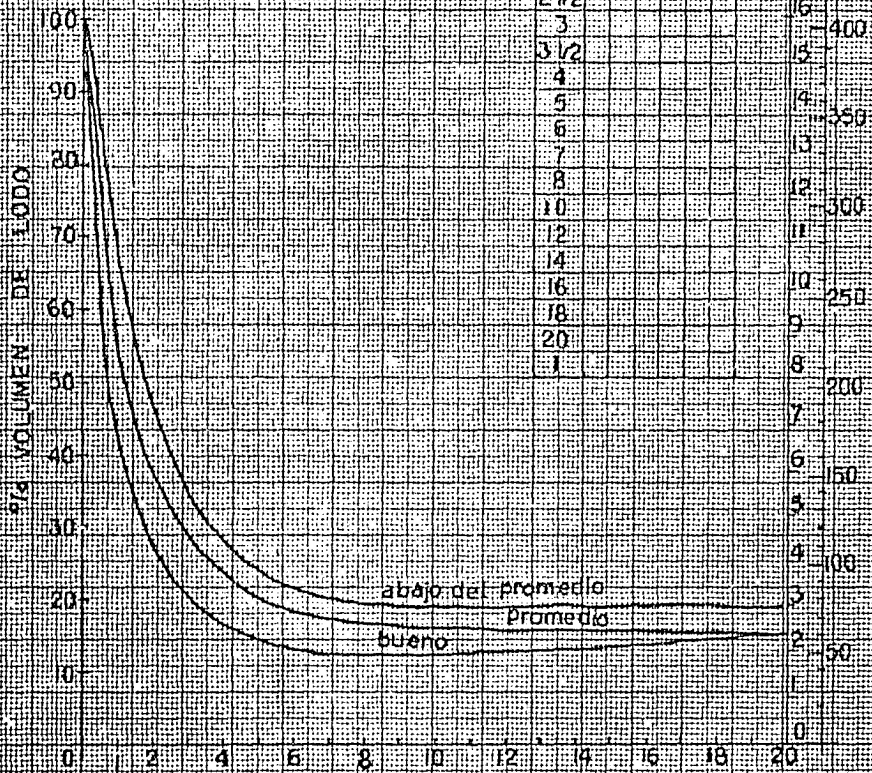
SOLUCION.- Diseñar eficientemente el tanque flash, acorde con los parámetros que seguidamente se citan:

- ° Volumen de jugo
- ° Velocidad
- ° Superficie expuesta.

## COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE DECANTACION DE SOLIDOS EN EL CLARIFICADOR

Resultado de las pruebas

t min	% vol. de lodo						m cm
	1	2	3	4	5	6	
1/2							400
1 1/2							350
2							300
2 1/2							250
3							200
3 1/2							150
4							100
5							50
6							0
7							
8							
10							
12							
14							
16							
18							
20							
1							



Facultad de Ing. UNAM  
SEMINARIO DE TESIS

GRAFICA 3 G.F.Y  
Escala: S/E DIBUJO

DEPARTAMENTO.- CRISTALIZACIÓN.

OPERACION.- Agotamiento de masa cocida.

EQUIPO.- Cristalizadores continuos.

PROBLEMA.- INSUFICIENTE agotamiento de la masa cocida, con dificultad de purga en centrifugas.

CAUSA.-

- ° Elevada incrustación en tubería y discos, por manejar agua sin tratar.
- ° Falta de control en la temperatura del agua, tanto en las secciones de enfriamiento, como en las de calentamiento.
- ° Elevada viscosidad del material, debida a formación de dextrana en las primeras fases del proceso (caña vieja, condiciones sucias de operación en molinos, etc.)

EFFECTO.-

- ° Disminución del coeficiente global de transferencia de Calor "U", con mayor necesidad de energía calorífica.

DEPARTAMENTO.- CENTRIFUGAS.

OPERACION.- Separación de la miel del grano.

EQUIPO.- Centrífuga

PROBLEMA.- Retraso en el ciclo de centrifugado.

CAUSA.-

- ° Elevada viscosidad del material, por --  
insuficiente calentamiento previo.
- ° Necesidad de mayor cantidad de agua pa-  
ra lavado en la canasta.

EFECTO.

- ° Incremento en las pérdidas de sacarosa  
en miel, sin recuperación posterior.
- ° Un mayor requerimiento de energía calo-  
rífica (vapor) en la fase de secado, pa  
ra liberar la humedad excedente.

SOLUCION.-

- ° Además de llevar un estricto control de  
polisacaridos dentro del proceso, garan  
tizar un régimen de temperatura de ali-  
mentación a centrifugas estable.



DEPARTAMENTO.- PLANTA ELECTRICA.

OPERACION.- Generación de Electricidad.

EQUIPO.- Turbo Generador.

PROBLEMA.- Eficiencia Térmica Baja.

CAUSA.-

- ° Presiones de operación cercanas a 200 -  
psig en la mayoría de las plantas.
- ° Utilizar turbinas de contrapresión y no  
de condensación para la generación de -  
energía eléctrica.

EFFECTO.-

- ° Incremento en el consumo de vapor, al -  
operar el ciclo con eficiencia térmica  
baja.
- ° Requerimientos mayores de agua de re---  
puesto, con el consiguiente gasto adi--  
cional de energía para incrementar su -  
temperatura.

SOLUCION.- Diseñar un ciclo de operación con presio-  
nes escalonadas, reaprovechando los equi-  
pos existentes al máximo (ver diagrama --  
anexo).

DEPARTAMENTO.- MOLINOS/EVAPORACION.

OPERACION.- Accionamiento de molinos.

EQUIPO.- Máquinas de vapor reciprocantes/turbinas - de vapor, intercambiadores de calor.

PROBLEMA.- Incrustación externa/interna de los tubos de la calandria en intercambiadores de calor.

CAUSA.- Arrastre de aceite lubricante con vapor de escape en los primotores y/o con el jugo - mezclado.

EFECTO.- °Formación de una fina película de aceite en la superficie exterior e interior de los tubos de calentadores, evaporadores y tachos, reduciendo la transferencia de calor del material, con un mayor consumo de combustible, al incrementarse los tiempos de operación.

°La presencia de más 1 p.p.m. de aceite en el condensado utilizando para alimentar calderas, será la causa de espuma y quemado de tubos.

SOLUCION.- °Mantenimiento preventivo en molinos.

°Instalar trampa separadora de grasas y aceite.

DEPARTAMENTO.- CRISTALIZACION.

OPERACION.- Inyección de agua a condensadores barométricos.

EQUIPO.- Evaporación y tachos.

PROBLEMA.- Elevada temperatura del agua de inyección

CAUSA.-

- Utilización de sistemas adicionales para mantenimiento del vacío, tales como bombas de vacío.

EFECTO.-

Mayor consumo de energía eléctrica.

SOLUCION.-

- Mantener en condiciones óptimas (libres de obturación) las toberas del enfriador; o bien, las propias torres de enfriamiento.
- Utilizar el jugo mezclado como fluido enfriador, lo cual traería aparejada una economía sustancial en el balance térmico, al elevar su temperatura aproximadamente hasta 45 - 50°C.

DEPARTAMENTO.- BATEY

OPERACION.- Almacenamiento de caña.

EQUIPO.- Area de Grúas.

PROBLEMA.- Retraso en la molienda de la caña.

CAUSA.-  
Deficiente rotación de estibas.

EFECTO.-

- ° Pérdida de humedad en caña, con la consiguiente necesidad de incrementar el régimen de maceración en molinos y los subsecuentes problemas de evaporación por la humedad excedente.
- ° Aumento del deterioro del jugo por la actividad microbiológica de las enzimas y bacterias.
- ° Formación de ceras y gomas, con dificultades en las fases de cristalización.

SOLUCION.-

Establecer un programa racional de transporte y asignación para los diferentes mecanismos de descarga.

DEPARTAMENTO.- BATEY.

OPERACION.- Transporte de materia prima.

EQUIPO.- Transportador mecánico.

PROBLEMA.- Discontinuidad en la molienda de caña.

CAUSA.-

°Fluctuaciones en el colchón de caña por -  
deficiente alimentación y velocidad fija  
en el transportador.

EFFECTO.-

°Incrementos en el consumo de vapor en pr  
motores, debido a variaciones de carga en  
los equipos de preparación.

°Preparación irregular de la materia prima,  
con variaciones de carga y consumo en las  
turbinas que accionan los molinos.

SOLUCION.-

°Instalar sistemas de accionamiento varia-  
ble, tales como transmisiones hidráulicas  
de potencia.

DEPARTAMENTO.- BATEY

OPERACION.- Preparación de la materia prima.

EQUIPO.- Cuchillas y desfibradora.

PROBLEMA.- Insuficiente preparación de la caña para su posterior molienda.

CAUSA.-

Aparte de las fluctuaciones en el colchón de caña por deficiente alimentación, son causas de esta irregularidad, las siguientes:

°Un mal ajuste entre el tope de la cuchilla y la banda del transportador, o bien entre el martillo y la concha dentada en la desfibradora.

°Tratándose de cosecha mecanizada (caña en trozos), mezcla irregular con la caña cosechada manualmente, tallo largo.

EFECTO.-

°Desaprovechamiento de la capacidad instalada en primotores. Disminución en el rendimiento mecánico de los equipos.

°Disminución en el % de extracción en molinos, sobrecargado en trabajo de las transmisiones mecánicas y aumentando el consumo

de vapor en turbinas.

SOLUCION.- Normalizar el ajuste de los equipos de acuerdo con las características de la materia prima, adecuandolos a la capacidad instalada.

DEPARTAMENTO.- BATEY

OPERACION.- Transporte de fluidos (vapor de alta presión).

EQUIPO.- Tuberías.

PROBLEMA.- Variación en las propiedades termodinámicas del vapor. Caída de entalpía.

CAUSA.-

°Tubería mal aislada o daños en el aislante.

°Deficiente extracción del condensado. --  
Trampas de vapor mal calculadas.

°Elevada caída de presión por excesivo número de restricciones locales; trazo y --  
cálculo deficiente de tuberías.

EFECTO.- Disminución de presión y temperatura en el vapor, ocasionando:

a)- Mayor consumo en los primotores

b)- Arrastre de la película de condensado, con probable daño físico a los álabes en las turbinas.

SOLUCION.- °Optimizar el trazo de tuberías minimizando las caídas de presión, calculando los diámetros requeridos al efecto.



° Seleccionar las trampas de vapor adecuadas con holgura suficiente para asegurar desalojo del condensado formado.

° Calcular el espesor de aislamiento necesario, así como los materiales recomendados, para reducir las pérdidas de calor al medio ambiente.

## SINTESIS PARA EL CALCULO DEL AISLAMIENTO TERMICO.

Consideramos la metodología siguiente, la cuál se basa en materiales aislantes a base de Tierra Diatomácea y Asbesto. (4)

### CALCULO DEL ESPESOR.

- 1) En la tabla (1) se busca el diámetro nominal ( $\emptyset_1$ ).
- 2) En la misma tabla se busca la temperatura ( $T_1$ )
- 3) Para la temperatura se baja verticalmente.
- 4) Para el diámetro se prosigue horizontalmente hacia la derecha.
- 5) Donde se intersectan ambos cuadros encontramos el espesor del aislante.

### CALCULO DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA.

- 1) En la gráfica se busca la temperatura media

$$T_m = \frac{T_1 - 21^\circ}{2}$$

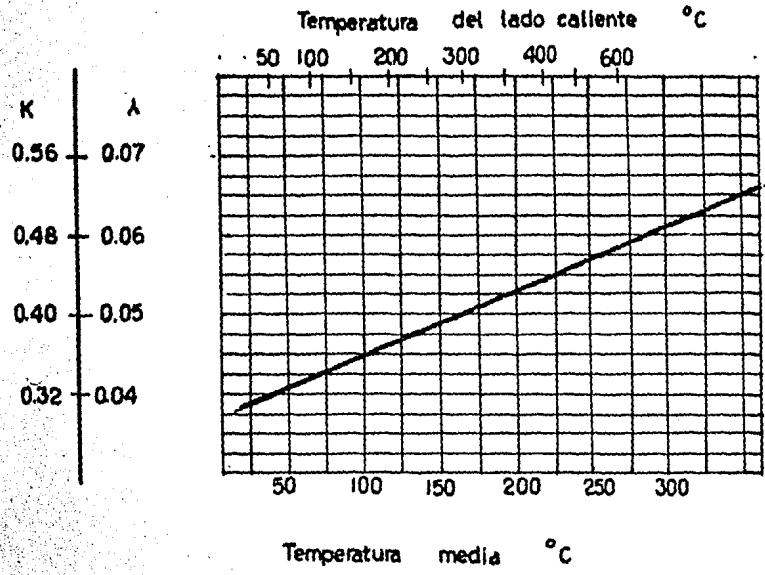
- 2) Con la  $T_m$  se sube verticalmente hacia donde se intercepta con la diagonal.
- 3) Después de interceptarse con la diagonal se

sigue horizontalmente hasta encontrar la (K) deseada. Como se muestra en la gráfica señalada.

Diámetro nominal	Temperatura de la cara más caliente																								
	100 °C		150 °C		200 °C		250 °C		300 °C		350 °C		400 °C		450 °C		500 °C		550 °C		600 °C		650 °C		
	espesores																								
Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm	Pul	mm
1/2	13	1	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2	51	2	51
3/4	19	1	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2	51	2	51
1	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64
1 1/4	32	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	2 1/2	64
1 1/2	38	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76
2	51	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76
2 1/2	64	1	25	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76
3	76	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76
4	102	1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3 1/2	89	4	102
5	127	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76	3 1/2	89	4	102
6	152	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3 1/2	89	4	102	4	102
8	203	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	3	76	3	76	3 1/2	89	4	102	4	102
10	254	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3 1/2	89	4	102	4	102	4	102
12	305	2	51	2	51	2	51	2	51	2 1/2	64	2 1/2	64	3	76	3	76	3 1/2	89	4	102	5	127	5	127
14	356	2	51	2	51	2	51	2	51	3	76	3	76	3	76	4	102	4	102	5	127	5	127	5	127
16	406	2	51	2	51	2	51	2	51	3	76	3	76	3	76	4	102	4	102	5	127	5	127	5	127
18	457	2	51	2	51	2	51	2	51	3	76	3	76	3	76	4	102	4	102	5	127	5	127	5	127
20	508	2	51	2	51	2	51	2	51	3	76	3	76	3	76	4	102	4	102	5	127	5	127	5	127
bloque		1	25	1	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	2	51	2	51	3	76	3	76	4	102	4	102	4	102

54

Facultad de Ingeniería UNAM.  
 SEMINARIO DE TESIS  
 Cálculo del espesor del aislamiento.  
 TABLA No. 1  
 Escala S/E G.F.Y. DIBUJO



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}}$$

55

Facultad de Ingeniería UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS	
Determinación de la conductividad térmica.	
GRAFICA No. 1	G. F. Y.
Escala S/E	DIBUJO

METODOLOGIA PARA CALCULAR LA PERDIDA DE CALOR Y LA EFICIENCIA DEL AISLAMIENTO.

- 1) Empleando la ecuación para la transferencia de calor en superficies cilíndricas:

$$Q_1 = \frac{(t_1 - t_2) L}{\frac{1}{K_m \left( \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{2 \pi} \right)} + \frac{1}{f}}$$

se determina la cantidad de calor que se pierde en la superficie aislada.

- 2) En la tabla ( 2) se encuentra el valor  $\ln \frac{r_1}{r_2}$

Con ayuda del espesor ya calculado y el diámetro de la tubería ( $\phi_1$ )

- 3) En la gráfica se encuentra ( ha= Transferencia de calor por convección y radiación de tubos horizontales). Haciéndolo de la siguiente manera:

a) Con la  $(T_1 - 70) ^\circ F$  se encuentra: Temperatura con la cuál se entra a la gráfica.

b) Una vez encontrada la temperatura se sube hasta don de se intersecta con las líneas de diámetro ( $\phi_1$ ).

- c) Después se sigue la línea horizontal hacia la izquierda y se encuentra la transferencia de calor por convección y radiación de tubos horizontales ( ha ).
- 4) Se encuentra el valor de  $\frac{i}{f} = \frac{1}{ha (Di)}$
- 5) Ya obtenidos todos los parámetros o valores, se sustituyen en la fórmula mencionada en el punto número 1 - que es la cantidad de calor que se pierde en la superficie aislada.
- 6) En la tabla (3) con el diámetro ( $\phi_1$ ) y la temperatura ( $T_1$ )°F de superficie del tubo sin aislar se tiene que para la ( $T_1$ )°F hay una pérdida de calor  $Q_2$
- 7) A lo largo de la tubería se tiene una pérdida de calor  $Q_3$

$$Q_3 = Q_2 \times \text{Longitud}$$

- 8) Una vez obtenidas las pérdidas de calor encontramos la eficiencia.

$$E = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_3} \times 100$$

Aún y cuando resulta prácticamente imposible alcanzar la eficiencia ideal esto es 100%, existe un límite del aislante por encima del cuál de nada serviría aumentar los espesores ya que, la misma masa del aislante logra siem-

Diám. nominal		A		B		Espesores					
mm	Pul	Pul	Pul	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4
63	1/4	0.540	0.270	0.160	0.240	0.299	0.338	0.370	0.396	0.419	0.439
9.5	3/8	0.675	0.337	0.144	0.219	0.269	0.308	0.339	0.364	0.387	0.406
13	1/2	0.840	0.420	0.124	0.193	0.241	0.278	0.308	0.333	0.355	0.374
19	3/4	1.050	0.525	0.106	0.169	0.214	0.250	0.278	0.303	0.324	0.342
25	1	1.315	0.657	0.090	0.147	0.189	0.222	0.249	0.273	0.293	0.311
32	1 1/4	1.660	0.830	0.075	0.125	0.164	0.195	0.221	0.243	0.263	0.280
38	1 1/2	1.900	0.950	0.067	0.114	0.150	0.180	0.205	0.226	0.245	0.262
51	2	2.375	1.187	0.055	0.097	0.130	0.157	0.180	0.200	0.218	0.234
64	2 1/2	2.875	1.437	0.047	0.084	0.113	0.138	0.160	0.179	0.196	0.211
76	3	3.500	1.750	0.039	0.072	0.098	0.121	0.141	0.158	0.174	0.189
89	3 1/2	4.000	2.000	0.035	0.064	0.089	0.110	0.129	0.145	0.161	0.174
102	4	4.500	2.250	0.032	0.058	0.081	0.101	0.119	0.134	0.149	0.162
114	4 1/2	5.000	2.500	0.029	0.053	0.074	0.092	0.110	0.125	0.139	0.152
127	5	5.563	2.781	0.026	0.048	0.068	0.086	0.102	0.116	0.129	0.141
152	6	6.625	3.312	0.022	0.041	0.059	0.075	0.089	0.102	0.114	0.126
178	7	7.625	3.812	0.019	0.037	0.053	0.067	0.080	0.092	0.103	0.114
203	8	8.625	4.312	0.017	0.033	0.047	0.060	0.072	0.084	0.094	0.104
228	9	9.625	4.812	0.015	0.030	0.043	0.055	0.066	0.077	0.087	0.096
254	10	10.750	5.375	0.014	0.027	0.039	0.050	0.060	0.070	0.079	0.088
304	12	12.750	6.375	0.012	0.023	0.033	0.043	0.052	0.061	0.069	0.077
355	14	14.000	7.000	0.011	0.021	0.031	0.040	0.048	0.056	0.064	0.071
406	16	16.000	8.000	0.0096	0.018	0.027	0.035	0.043	0.050	0.057	0.064
457	18	18.000	9.000	0.0086	0.016	0.024	0.032	0.039	0.045	0.052	0.058
508	20	20.000	10.000	0.0077	0.015	0.022	0.029	0.035	0.041	0.047	0.053
609	24	24.000	12.000	0.0065	0.012	0.018	0.024	0.030	0.035	0.040	0.045

valores de  

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi}$$

A... Diám. de la tubería  
 B... Radio int. de aislamiento

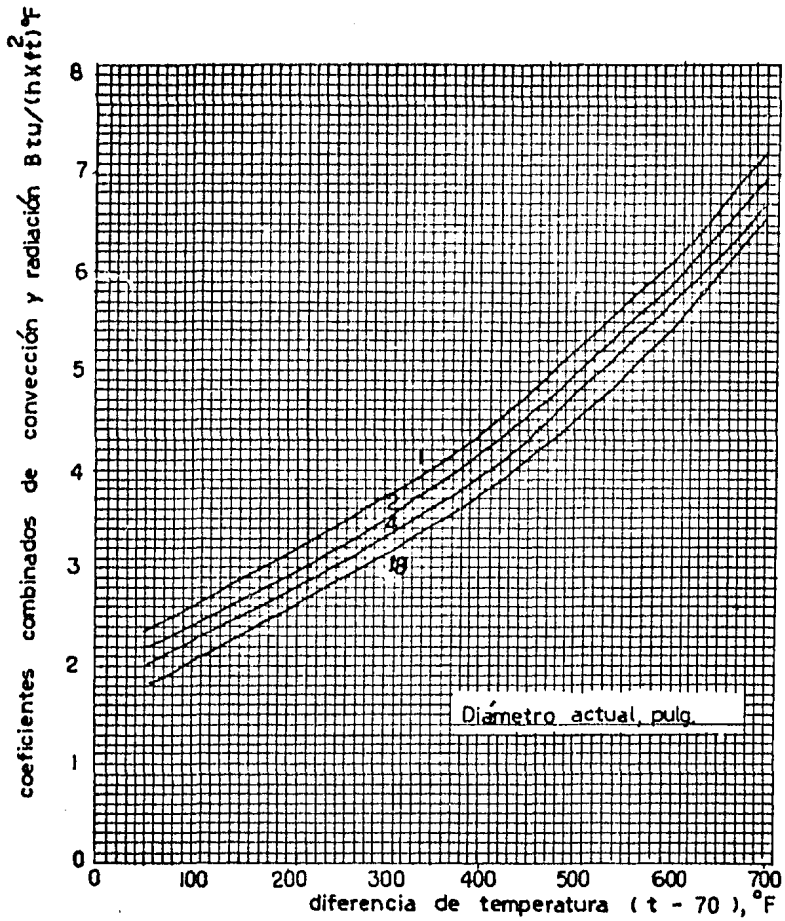
Facultad de Ingeniería UNAM.  
 SEMINARIO DE TESIS  
 Cálculo de los valores de Ln.  
 TABLA No. 2  
 Escala 5/E G.F.Y.  
 DIBUJO



Diámetro nominal		diferencia de temperatura entre el aire y la tubería, en °F									
mm	pulg	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
13	1/2	55	136	247	394	581	820	1120	1482	1929	2469
19	3/4	67	167	304	483	716	1013	1381	1835	2391	3064
25	1	82	206	373	595	881	1252	1709	2275	2967	3805
32	1 1/4	102	255	464	741	1103	1565	2139	2851	3722	4778
38	1 1/2	115	289	526	811	1252	1780	2434	3247	4242	5448
51	2	141	355	647	1036	1546	2199	3013	4022	5260	6761
64	2 1/2	168	423	773	1240	1853	2639	3619	4945	6330	8141
76	3	202	502	930	1493	2234	3186	4373	5850	7663	9863
89	3 1/2	228	575	1052	1691	2533	3616	4968	6649	8714	11222
102	4	255	642	1176	1892	2836	4051	5570	7458	9780	12599
114	4 1/2	281	708	1298	2090	3137	4481	6164	8258	10834	13962
127	5	310	782	1435	2312	3472	4965	6834	9196	12022	15500
152	6	364	920	1691	2728	4100	5870	8075	10818	14248	19763
203	8	464	1178	2169	3506	5280	7570	10443	14024	18436	23801
254	10	572	1447	2668	4318	6512	9350	12912	17355	22833	29500
303	12	671	1699	3137	5086	7675	11031	15243	20505	26993	34891
355	14	731	1851	3419	5544	8374	12042	16649	22403	29502	38148
406	16	828	2098	3877	6294	9514	13692	18941	25499	33597	43451
457	18	926	2348	4344	7059	10672	15374	21277	28860	37775	48873
508	20	1022	2592	4797	7800	11806	17009	23554	31742	41848	54161
558	22	1117	2835	5250	8539	12935	18642	25829	34817	45917	59439

Pérdidas de calor en tuberías sin aislar, en BTU/hr ft

Facultad de Ingeniería UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS	
Pérdidas de calor en tuberías sin aislar	
TABLA No. 3	G. F. Y.
Escala S/E	DIBUJO



Facultad de Ing. UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS	
Cálculo transferencia de calor por convección y rad.	
GRAFICA 2	G.F.Y.
Escala S/E	DIBUJO

pre transmitir una parte de calor latente; que va aumentando paulatinamente en su interior; este límite será técnica y económicamente más alto, entre menor resulte el coeficiente de conductividad térmica y el calor específico del material aislante que se escoja.

## EJEMPLO DE APLICACION,

Diámetro de la tubería: 12"

Gasto de Vapor: 200,00 lbs/hr.

## CONDICIONES TERMODINAMICAS:

Temperatura del Vapor sobrecalentado: 406°F/208°C

Temperatura del Vapor saturado: 100°F/ 38°C

Longitud de la Tubería: 100 metros.

De la tabla ( 1 ) se determina el diámetro nominal y la temperatura y con éstos parámetros se encuentra el espesor, para éste caso es 51 mm (2").

De la gráfica ( 1 ) se determina la conductividad térmica a la temperatura media de trabajo. En éste caso:

$$T_m = \frac{208^{\circ}\text{C} + 21^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_m = 114.5^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto

$$K = 0.38 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^{\circ}\text{F/in}}$$

$$\lambda_m = 0.0475 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C/m}}$$

$$K_m = \frac{(0.380 \text{ BTU})}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}} \left( \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right) = \frac{0.3166 \text{ BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/ft}}$$

$$\lambda_m = 0.0475 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}} \frac{1}{\lambda_m} = \frac{21.052 \text{ hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

Para homogenizar unidades es necesario convertir a:

$$\frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/ft}}$$

$$\frac{1}{K_m} = 31.58 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

De la gráfica (2)

$$h_a = 3.3 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

De la tabla (2)

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi} = 0.043$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{h_a (D_i)} = \frac{1}{3.3 \times 12}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3.3 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}}} = 0.03030 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{4.95 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}} = 0.2020 \frac{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}$$

Con éstos datos y empleando la ecuación para transferencia de calor en superficies cilíndricas, se determina la cantidad de calor que se pierde en la superficie aislada.

$$Q = \frac{100 \text{ m} \times 187^\circ\text{C}}{21.052 \frac{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}} \times 0.043 + 0.2020 \frac{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = 16,888.901 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

De la tabla (3) con el diámetro nominal y la temperatura de superficie del tubo sin aislar, tenemos que, para ésta temperatura, hay una pérdida de calor:

$$Q = 5086 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}}$$

$$Q = 16686.351 \frac{\text{BTU}}{\text{hr m}}$$

$$Q = (16686.351) \cdot (100) = 1668635.1 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$Q = \frac{420496.02 \text{ Kcal}}{\text{hr}}$$

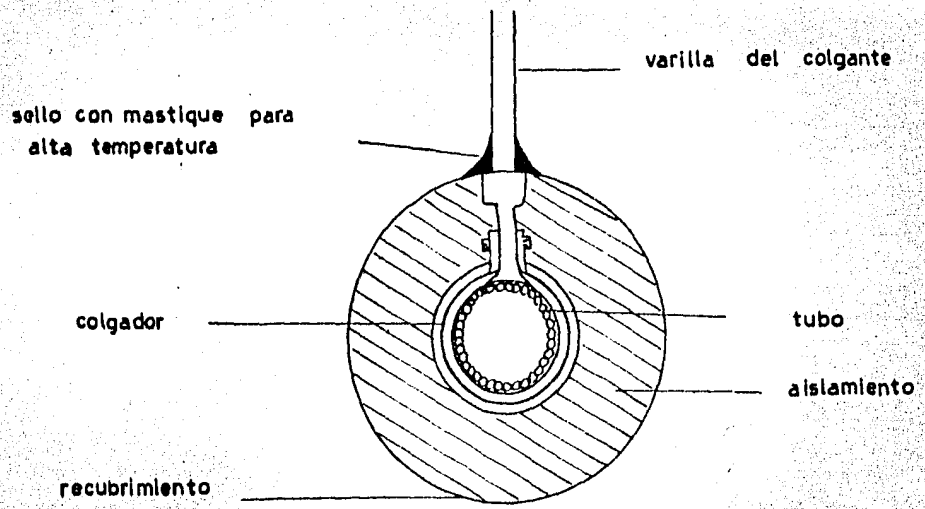
Por lo tanto la eficiencia del aislamiento será:

$$E = \frac{420496.02 - 16888.901}{420496.02} = 0.9598$$

$$E = 95.98 \%$$

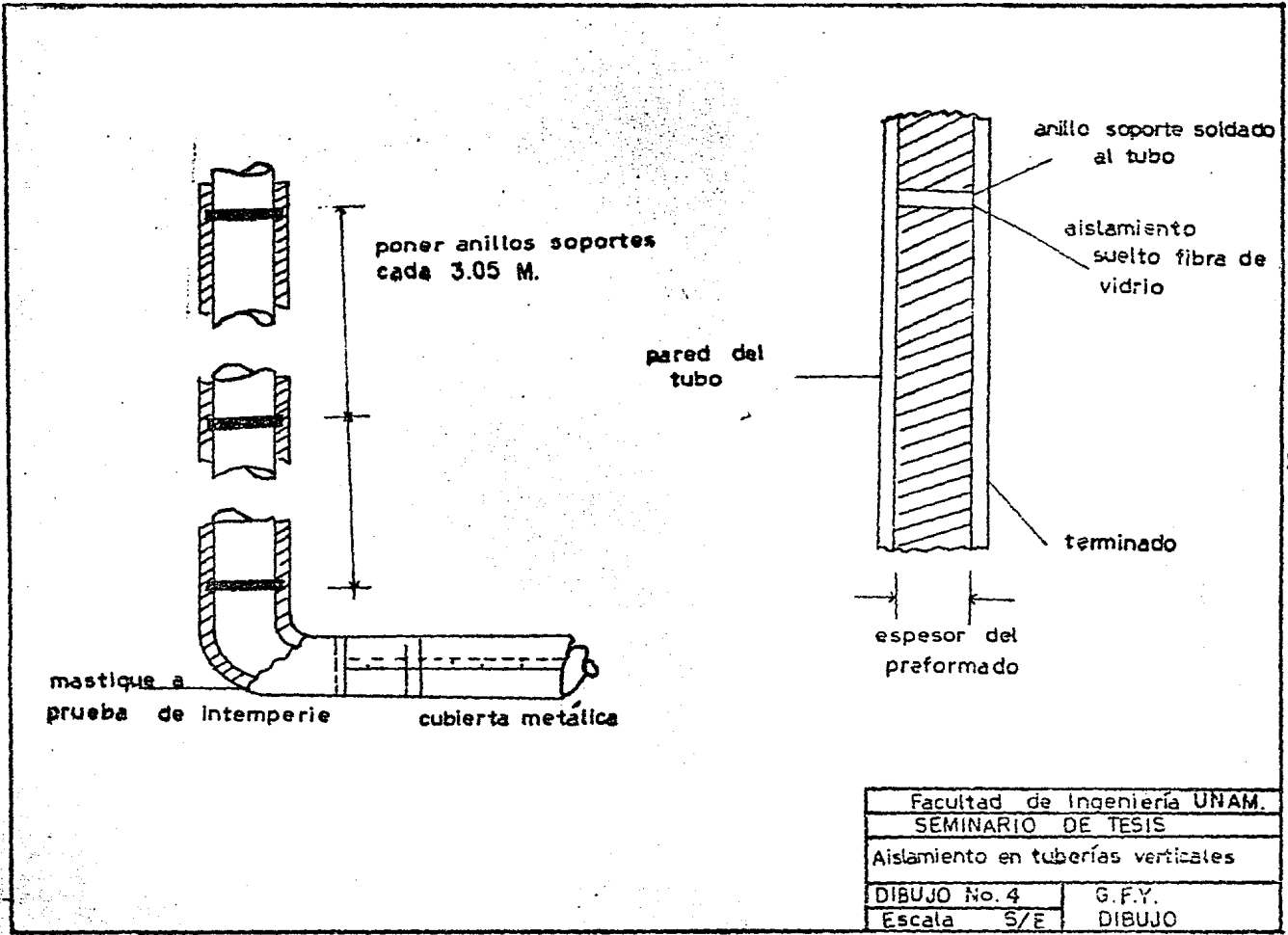
RECOMENDACIONES BASICAS PARA  
 AISLAMIENTO DE TUBERIAS



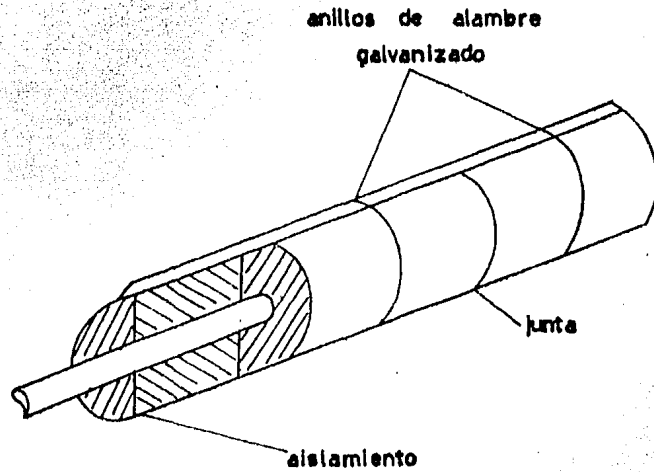


67

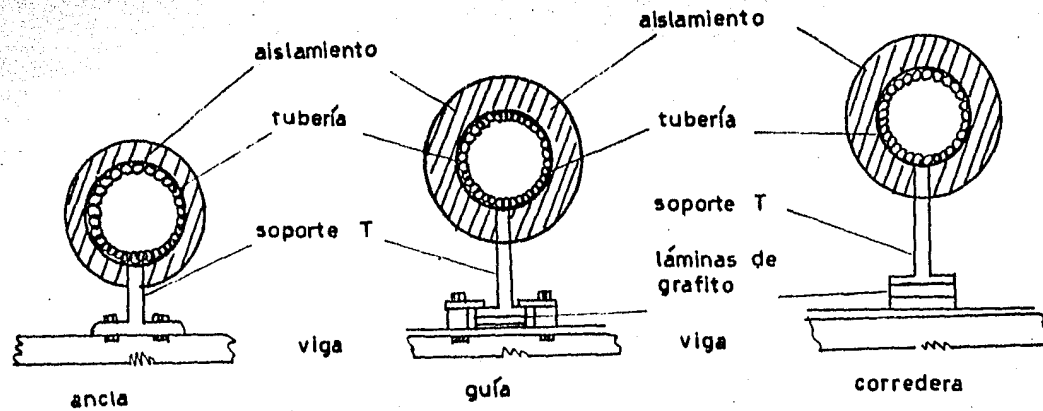
Facultadde Ingenieria UNAM.	
SEMINARIO DE TESTIS	
Colgador para tubo aislado.	
DIBUJO No. 3	G.F.Y.
Escala .. S/E	DIBUJO



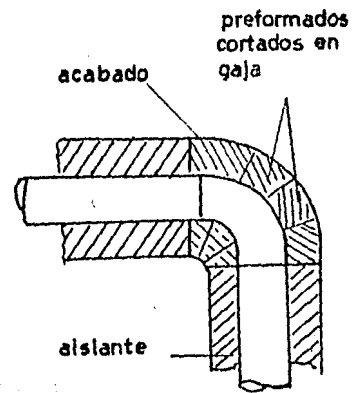
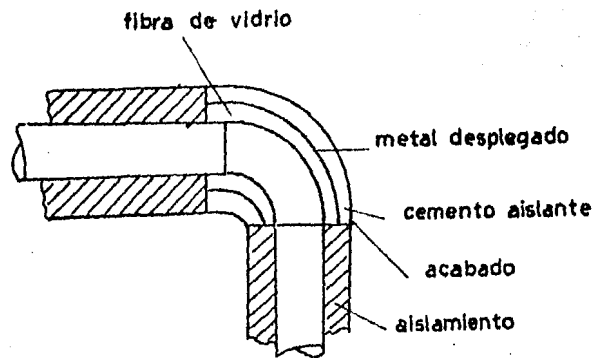
Facultad de Ingeniería UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS	
Aislamiento en tuberías verticales	
DIBUJO No. 4	G.F.Y.
Escala S/E	DIBUJO



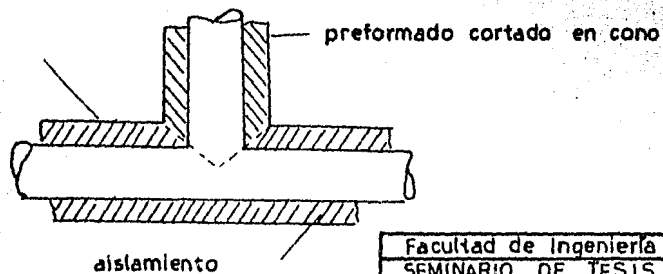
Facultad de Ingeniería UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS;	
Aislamiento en tuberías horizontales.	
DIBUJO No. 5	G.F.Y.
Escala S/E	DIBUJO



Facultad de Ingeniería UNAM.	
SEMINARIO DE TESIS.	
Soportes para tubería aislada.	
DIBUJO No. 6	G.F.Y.
Escala S/E	DIBUJO



acabado para intemperie



71

Facultad de Ingeniería UNAM.

SEMINARIO DE TESIS.

Aislamiento de accesorios

DIBUJO No. 7

G.F.Y.

Escala

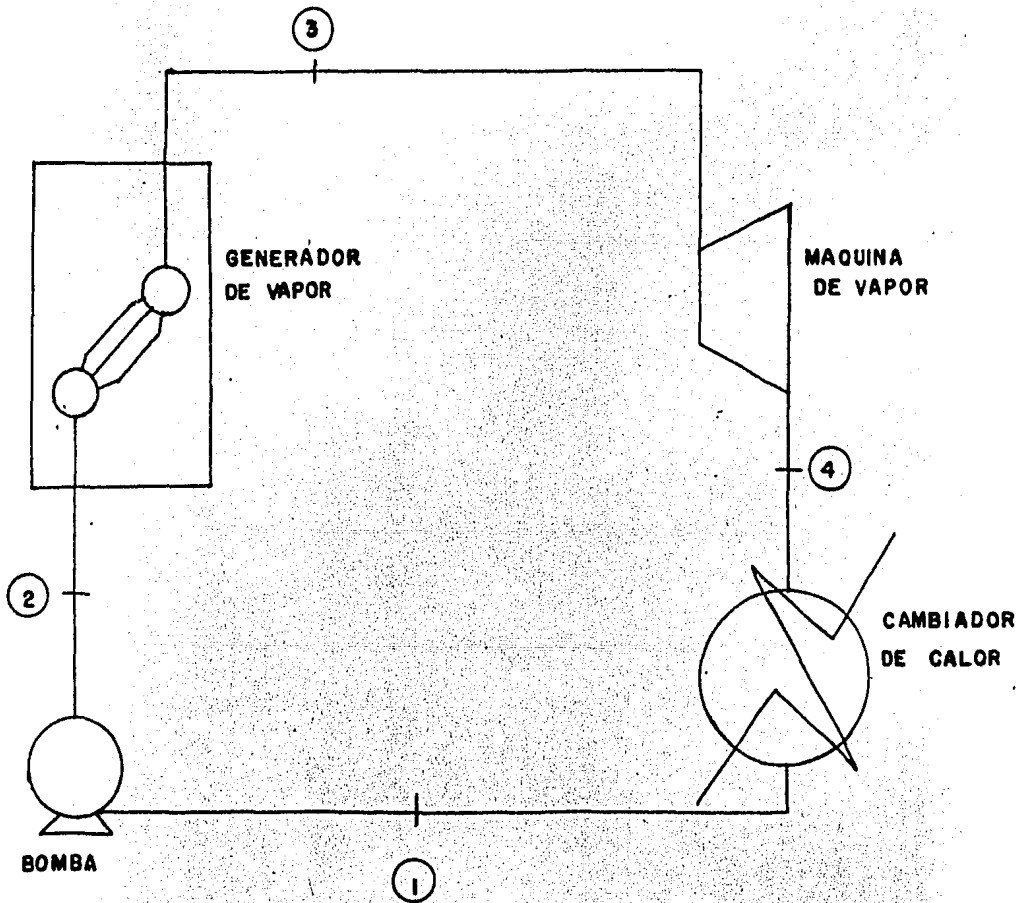
S/E

DIBUJO

4.1).- GENERACION DE VAPOR.

La producción de vapor es fundamental en toda industria de proceso continuo (5).

El ciclo que ahora estudiamos es el denominado de "RANKINE", el cual se ilustra en los diagramas de operación que se muestran en las figuras (2) y (3).



CICLO RANKINE MAS SIMPLE

Figura (2)

En el diagrama T-S se supone que el vapor es sobrecalentado, en donde los procesos serían los siguientes:

- 1-2.- Aumento de presión por la bomba isentrópico (ideal).
- 1-2'.- Aumento de presión por la bomba realmente.
- 2-3.- Cambio de fase a presión constante en el generador de vapor (líquido a gas).
- 3-4.- Expansión isentrópica en la máquina de vapor (ideal).
- 3-4'.- Expansión real en la máquina de vapor.
- 4-1.- Cambio de fase en el cambiador de calor del proceso a presión constante.

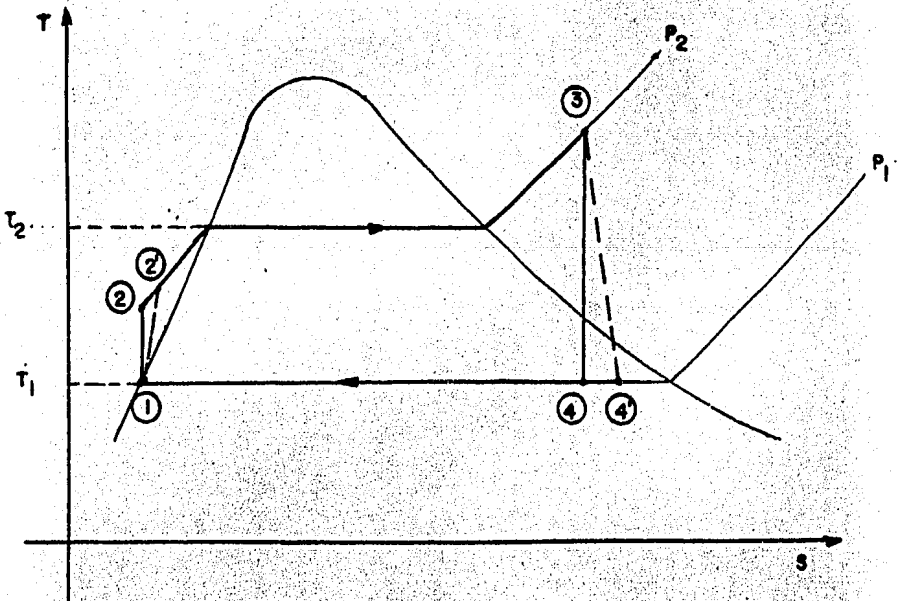


Figura (3)

Como casos particulares de la generación de vapor en una industria de proceso continuo, como lo es la azucarera, presentamos dos ejemplos.

Ejemplo 1.- Se muestra su representación en la figura (4) con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} \text{si } P_{\text{man}} &= 200 \text{ psi} = 14.07 \text{ Kg/cm}^2 \\ P_{\text{atm}} &= 14.68 \text{ psi} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2 \\ P_{\text{abs}} &= 214.68 \text{ psi} = 15.103 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{sat}} &= 388.12^\circ\text{F} = 197.8^\circ\text{C} \\ T_{\text{vap}} &= 488.12^\circ\text{F} = 253.4^\circ\text{C} \\ \text{Sobrecalentamiento} &= 100^\circ\text{F} = 55.55^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Con una eficiencia en la expansión de 40%

Ejemplo 2.- Se muestra su representación en la figura(5) con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} P_{\text{abs}} &= 1250 \text{ psi} = 87.96 \text{ Kg/cm}^2 \\ T_{\text{sat}} &= 572.738^\circ\text{F} = 300.4^\circ\text{C} \\ T_{\text{vap}} &= 825^\circ\text{F} = 440.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Con una eficiencia en la expansión de 60%

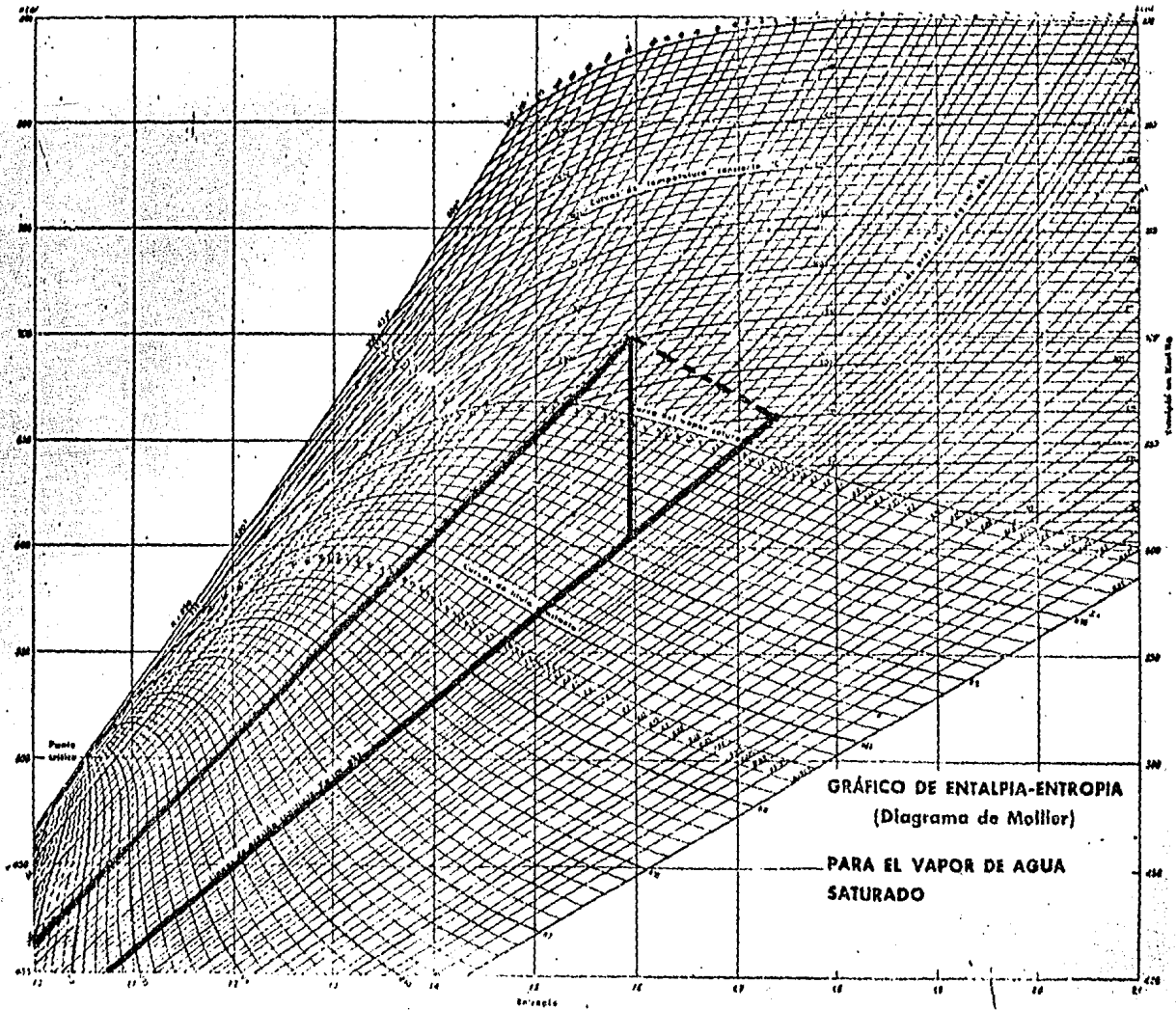
Por lo que hace al primer caso, esta presión es la mas común en los ingenios del país.

El segundo caso, corresponde a verdaderas innovaciones tecnológicas, tales como el arreglo térmico que se utiliza en un ingenio de Hawaíi, donde se genera el va-



por con muy alta presión (1250psig), mediante la combustión de bagazo en parrilla móvil, con descarga continua de la ceniza.

Figura (4)



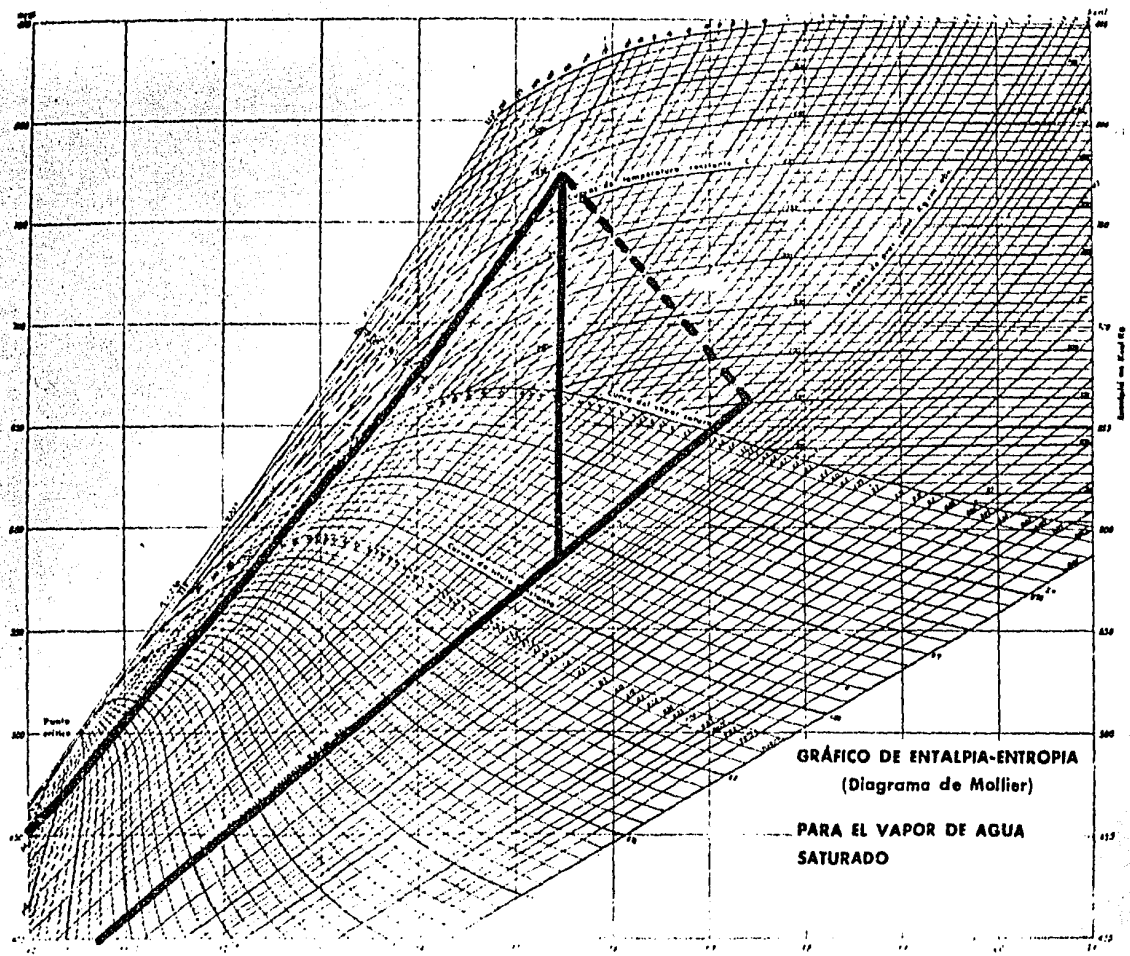


GRÁFICO DE ENTALPIA-ENTROPIA  
 (Diagrama de Mollier)  
 PARA EL VAPOR DE AGUA  
 SATURADO

Figura (5)

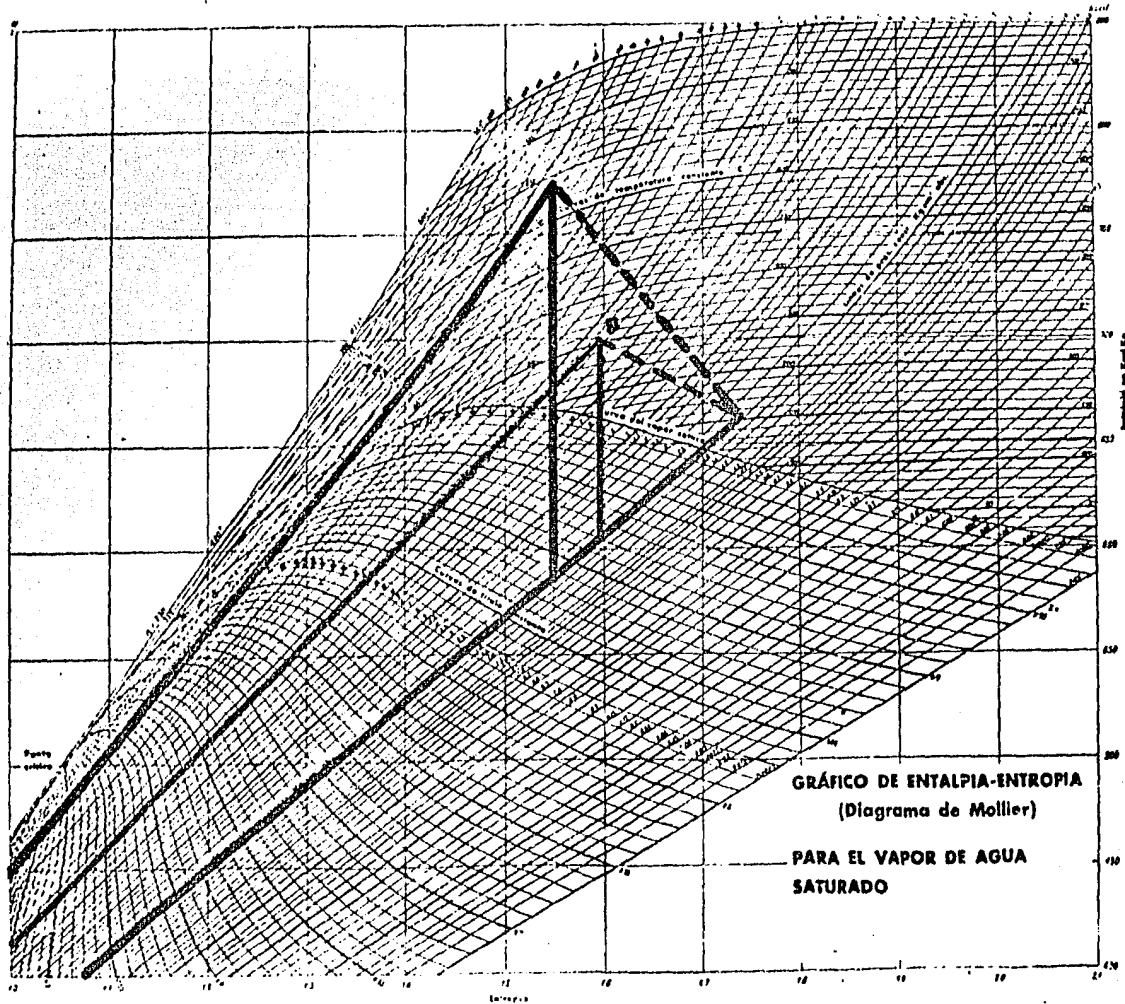
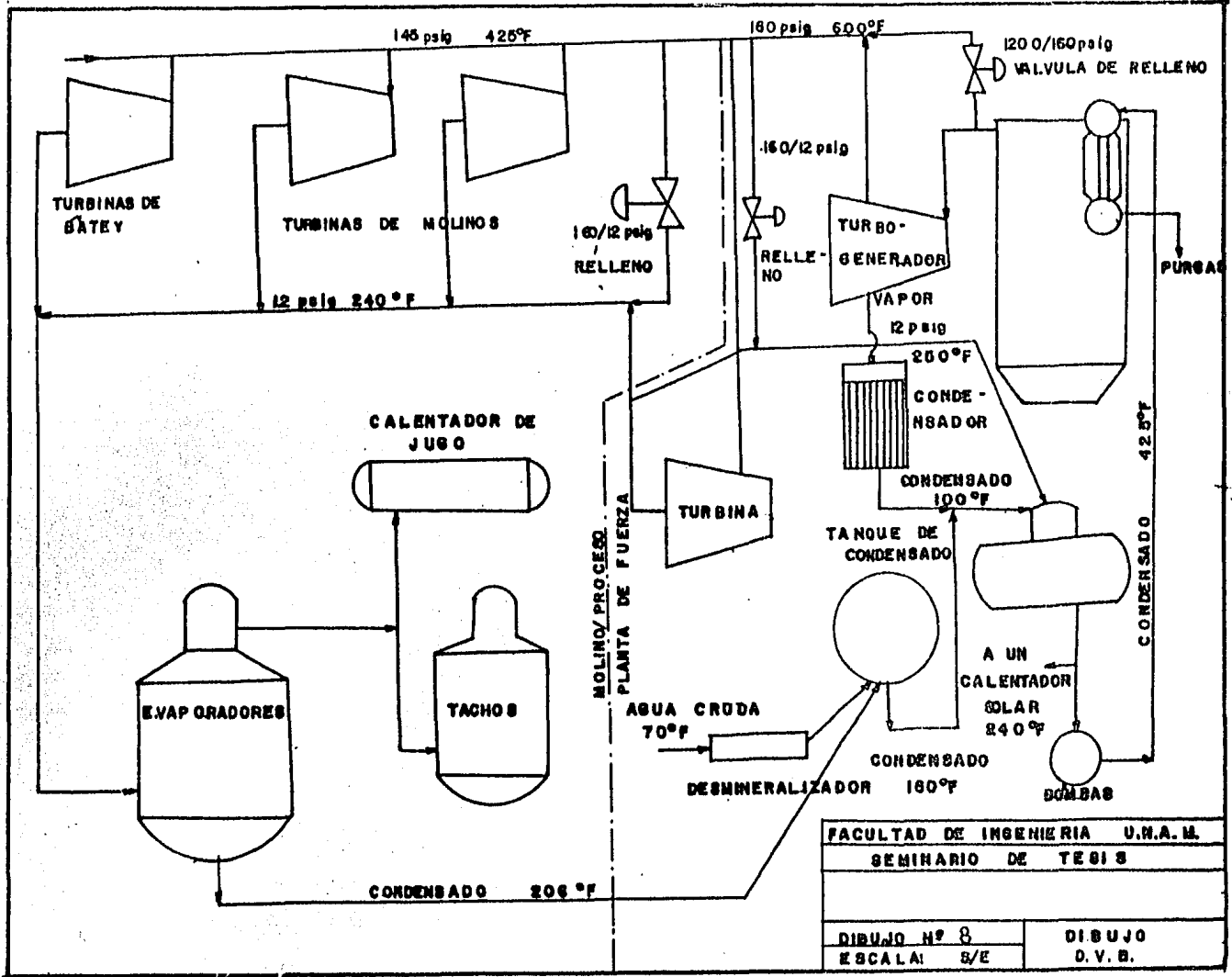


Figura (6). - Nos muestra las figuras anteriores superpuestas indicando el incremento de eficiencia en el ciclo.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
 SEMINARIO DE TESIS

DIBUJO N° 8	DIBUJO
ESCALA: 5/E	O. V. B.

## 4.1.1).- DESCRIPCION DEL EQUIPO

## UNIDAD GENERADORA DE VAPOR.

Aún cuando existen una gran variedad de unidades generadoras de vapor, sus elementos constituyentes en general son los mismos.

Como se sabe, el vapor no es mas que agua - calentada arriba de su punto de ebullición, con un cambio de estado físico de líquido a gas; por lo cual, es importante analizar oportunamente el suministro de agua, evitándose con ello diversos problemas, que serán mencionados mas adelante, donde se analizarán cada una de las corrientes indicadas en el bloque ilustrado en la figura -- (7), que es sacado del ciclo de vapor del dibujo (8).

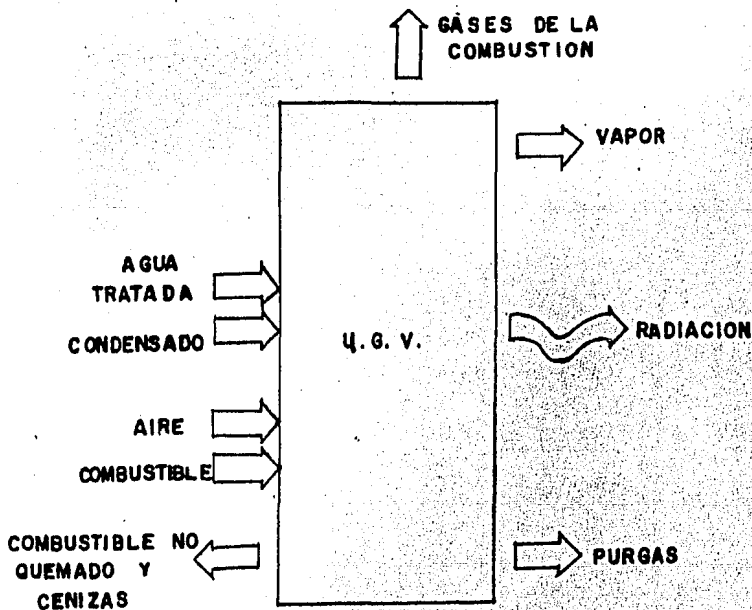


Figura (7)

## 4.1.2).- ANALISIS TERMODINAMICO DEL CICLO RANKINE.

## DETERMINACION DE VARIABLES.

El análisis termodinámico y las variables -- que nos interesan se comprenden mejor con el balance térmico, en donde el calor total a absorber será el dado por el poder calorífico del combustible; así, se pueden plantear los siguientes cálculos en forma sintetizada:

1.- Calor absorbido por el generador para -- producir el vapor (6).

$$Q_1 = M_s (h - h_f) / M_f \quad \text{donde:}$$

$Q_1$  = en Kcal/kg comb.

$M_s$  = Flujo másico de vapor en Kg v/hr

$M_f$  = Flujo másico de combustible en Kg comb/hr.

$h$  = Entalpía del vapor a la salida a "P" y "T" correspondientes en Kcal/Kg v.

$h_f$  = Entalpía del agua de alimentación a las mismas condiciones de alimentación en Kcal/Kg v.

2.- Pérdidas caloríficas debidas a la humedad del combustible.

Sabemos que la humedad del combustible se vaporiza y abandona el generador en forma de vapor; para su

evaluación, se supone que la presión parcial del vapor -- vale 0.07 Kg/cm y su temperatura es la de los gases de escape.

$$Q_2 = M_m(h_s - h_{f'}) \quad \text{donde:}$$

$Q_2$  = pérdidas caloríficas en Kcal/kg comb. tal como se quema.

$M_m$  = peso de la humedad del combustible en Kg agua/Kg comb.

$h_s$  = entalpía del vapor de los gases de escape a esta temperatura y a una presión parcial de 0.07 Kg/cm<sup>2</sup>, en Kcal/kg agua.

$h_{f'}$  = entalpía del líquido a la temperatura de entrada del combustible al quemador en Kcal/kg agua.

3.- Pérdidas caloríficas debidas al agua procedente de la combustión del hidrógeno.

Ya que el hidrógeno al oxidarse forma agua, la cual abandona la caldera en forma de vapor sobrecalentado.

$$Q_3 = M_H(h_s - h_{f'}) \quad \text{donde:}$$

$Q_3$  = pérdidas caloríficas en Kcal/Kg comb. tal como se quema.

$M_H$  = peso del agua debida a la oxidación del hidrógeno en Kg agua/Kg comb. tal como se quema.



$h_s$  y  $h_f'$  son las mismas calculadas anteriormente a las mismas condiciones.

4.- Pérdidas caloríficas debidas a la humedad del aire suministrado.

Son pequeñas, y se calculan como:

$$Q_4 = 0.46Mv(T_g - T_a) \quad \text{donde:}$$

$Q_4$  = pérdidas caloríficas en Kcal/Kg comb. - tal como se quema.

$Mv$  = porcentaje de saturación en decimal por el peso de agua requerido para saturar 1Kg de aire seco a  $T_a$  por peso del aire seco/Kg comb. tal como se quema.

0.46 = calor específico promedio del vapor de agua desde  $T_g$  a  $T_a$ .

$T_g$  = temperatura de los gases de escape en °C.

$T_a$  = temperatura del aire a la entrada en °C.

5.- Pérdidas caloríficas debidas a los gases de la chimenea secos.

Estas son las pérdidas mayores y mas importantes y se calculan como:

$$Q_5 = M_{ag} C_p(T_g - T_a) \quad \text{donde:}$$

$Q_5$  = pérdidas en Kcal/Kg comb tal como se quemama.

$M_{ag}$  = peso de los gases de escape en Kg/Kg -- comb tal como se quema.

$C_p$  = calor específico de los gases secos (valor aprox. 0.24 Kcal/Kg-°C).

6.- Pérdidas caloríficas debidas a una combustión incompleta.

Se deben principalmente a la insuficiencia de aire, se pueden calcular como:

$$Q_6 = \frac{CO}{CO_2 + CO} (5689.6) (C1) \quad \text{donde:}$$

$Q_6$  = pérdidas caloríficas en Kcal/Kg comb tal como se quema.

$CO_2$  y  $CO$  = % en volumen de los gases de escape.

$C1$  = peso del carbono realmente quemado en Kg/Kg Comb.

7.- Pérdidas caloríficas debidas al combustible sin quemar contenido en las cenizas y escoria.

Estas pérdidas dependen del tipo de parrilla, velocidad de combustión, tamaño y clase de combustible, se puede cuantificar como:

$$Q_7 = \frac{8148 \text{ Mr Cr}}{M_f} \quad \text{donde:}$$

$Q_7$  = pérdidas caloríficas debidas al combustible sin quemar en Kcal/Kg comb. tal como se quema.

$M_r$  = peso de cenizas y escoria en Kg/hr.

$C_r$  = peso de carbono en Kg c/Kg de cenizas y escoria.

$M_f$  = peso total del combustible quemado por hora en Kg comb./hr.

8.- Pérdidas caloríficas debidas a purgas en la caldera (7).

En casos prácticos se consideran de 1% del calor total generado por la combustión, se pueden estimar como:

$$Q_8 = \frac{M_p}{M_f} (h_f - h_p) \quad \text{donde:}$$

$Q_8$  = pérdidas de calor en Kcal/kg comb. tal como se quema.

$M_p$  = peso de la purga en Kg p/hr.

$M_f$  = peso de combustible en Kg comb/hr.

$h_f$  = entalpía del líquido saturado a la presión de la caldera.

$h_p$  = entalpía del agua de alimentación.

### 9.- Pérdidas incalculables directamente.

Estas pérdidas se calculan restando todas -- las pérdidas anteriores al calor generado por el combustible, se cuantifican como:

$$Q_g = Q_{\text{comb}} - \sum_{i=1}^8 Q_i$$

Si  $Q_{\text{comb}} = \frac{M_f}{M_f} \text{ PCS}$  donde:

$M_f$  = se definió en el punto anterior.

PCS = poder calorífico superior del combustible en Kcal/Kg comb.

$Q_{\text{comb}}$  = calor generado por el combustible en Kcal/Kg comb.

## 4.1.3) ELEMENTOS DE MEDICION

## 4.1.3.1) ESTADO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MEDICION.

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
GASES	TEMPERATURA T	Term. liquido Term. bimetalico Term. resistencia. Term. termopar	Equipo eléctrico registrador de temperatura	-Termómetro infrarrojo -Term. foto detector - Wahl -Term. infrarrojo heat-spy. Wahl.
	% O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub>	Analizador de Orsat. Laboratorio Muestreo.	Analizador de Orsat, Cromatografía. (Carta de Ryngelman.)	-Analizador de O <sub>2</sub> -Equipo de prueba de la caldera (Bacharach). -Analizador de O <sub>2</sub> (Selmec).
VAPOR	TEMPERATURA T	Term. liquido Term. bimetalico. Term. resistencia. Term. mercurio Term. termopar	Instrumentos registrados e indicadores de temperatura.	Termoflujómetro (Kubelik) Termómetro portátil de contacto - (Heat Prober)
	PRESION P	Tubo de Bourdon Manómetro de Hg Manómetro de diafragma. Manómetro de fuelle.	Instrumentos registradores e indicadores de presión.	Transmisor de presión

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
VAPOR	FLUJO Q	Placa de orificio Transmisor de presión diferencial y registrador.	Rotámetro de desplazamiento positivo tipo - tobera.	Flujómetro portátil (Polysonics). Flujómetro electromagnético. (Fischer-Porter).
AGUA	TEMPERATURA T	Term. bimetalico Term. líquido Term. mercurio Term. termopar	Instrumento registrador e indicador de temperatura.	Term. portátil de contacto. Calcomanias registradoras de temperatura.
	DISUELTO O <sub>2</sub>			Analizador de oxígeno disuelto.
	FLUJO Q	Placa de Orificio. Tubo Ventury. Tobera.	Rotámetro de desplazamiento positivo.	Medidor de flujos viscosos. (Fis-Porter). Flujómetro - (Polysonics). Flujómetro - electromagnético. (Fischer-Porter).

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
CONDENSADO	TEMPERATURA T	Termómetro mercurio. Term. termopar Term. resistencia. etc.	Registradores e indicadores de temperatura.	Termómetro de contacto  Calcomanías registradoras.
	SOLIDOS §	Teórico-Experimental.	Idem	
RADIACION	TEMPERATURA T	Teórico-Experimental	Pirómetros	Foto-detector termómetros de infrarrojo.
PURGAS	ANALISIS GENERAL	Teórico-Experimental de laboratorio.	Idem	
	SOLIDOS §	Laboratorio (Muestreo-conductividad)	Idem	Idem
	TEMPERATURA T	Term. termopar Term. resistencia. Term. mercurio	Idem	Termómetro de Contacto.

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
BAGAZO	TEMPERATURA T	Term. Termopar Term. Mercurio Term. Resistencia	Registadores e indicadores de temperatura	Termómetro Infrarrojo, sin contacto o de contacto
	% H <sub>2</sub> O			Analizador de Humedad.
COMBUSTO- LEO	TEMPERATURA T	Term. Termopar Term. Bimetálico Term. Mercurio	Reg. e indicadores de temp.	Termómetro infrarrojo, sin contacto o Termoflujómetro de contacto.



4.1.3.2] CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DISPOSITIVOS AVANZADOS DE MEDICION Y SU CAMPO DE APLICACION EN LA INDUSTRIA.

Termómetro infrarrojo portátil. Sin contacto.

MARCA: LAND PYROMETERS LTD INGLATERRA

MODELO: CYCLOPS 52.

RANGO DE MEDICION: 600-3000 °C

EXACTITUD:  $\pm$  0.5%

CARACTERISTICAS:

Pesa 0.8 Kg y tiene un mango incorporado tipo pistola. La lente estándar puede enfocarse hasta un mínimo de 1m. Este instrumento a batería tiene una óptica de foco variable de calidad fotográfica, un detector de fotocélula de silicio y circuitos electrónicos de microprocesador.

CAMPO DE APLICACION:

Sus aplicaciones incluyen la fabricación de vidrio, fibras de vidrio, borosilicatos, refractarios cerámicos también se usan en hornos, procesamientos de metales, servicios eléctricos y laboratorios de investigación.

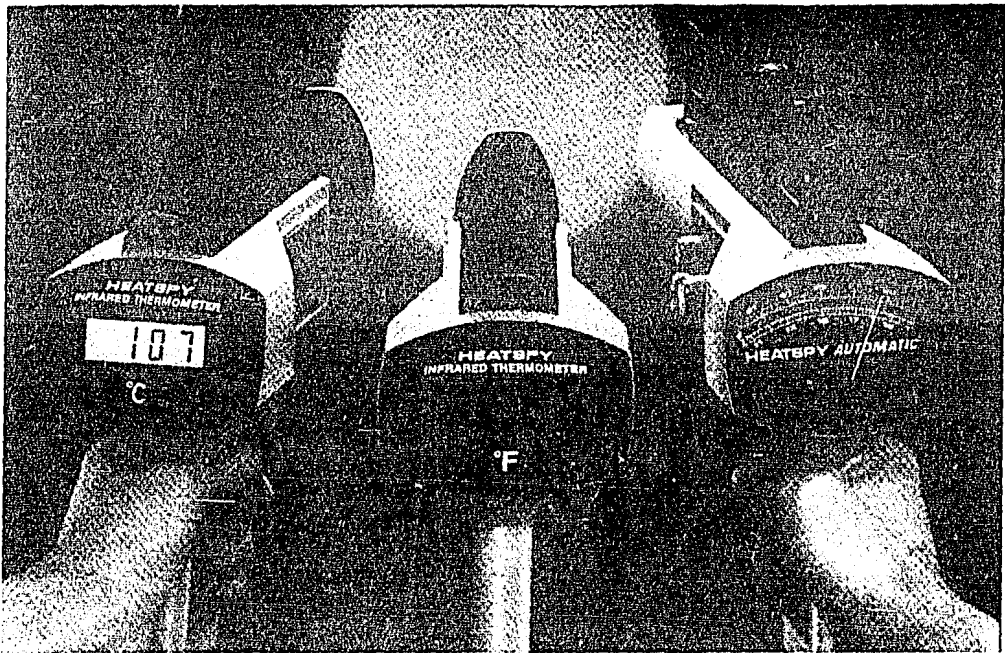
Termómetro infrarrojo portátil. Sin contacto.

MARCA: WAHL Instruments, Inc. E.U.A.

MODELO: HEAT SPY, Modelo DHS-28



Termómetro infrarrojo (Portátil-CYCLOPS 52)



Termómetro infrarrojo (Portátil-HEAT SPY)

RANGO DE MEDICION: -17 a 1371°C

EXACTITUD:  $\pm 0.5\%$

METODO: RADIACION.

CARACTERISTICAS:

Combina amplios márgenes de medición con altas temperaturas en un único instrumento -- portátil. Tiene un circuito de calibración automática verdadera de 0, indicador de --- cristal líquido fácil de leer y una función de autoprueba interna, tamaño del blanco: 5 cm. enfocado a 1.22 m, con mediciones exactas desde 0 hasta 7.6 m.

CAMPO DE APLICACION:

Idem. que la anterior.

Termoflujómetro, de contacto.

MARCA: KUBELIK, REP. FED. DE ALEMANIA

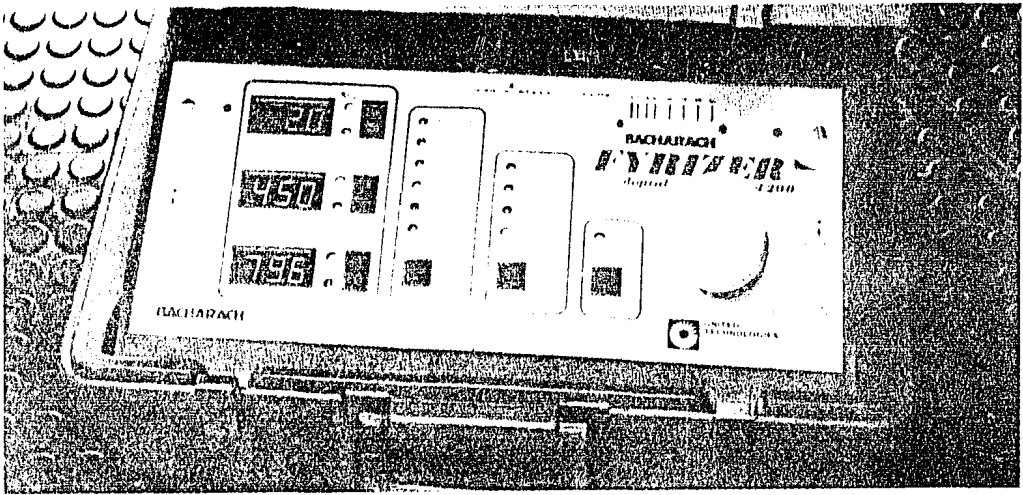
MODELO: SHOTHERM HFM

RANGO DE MEDICION: Variable

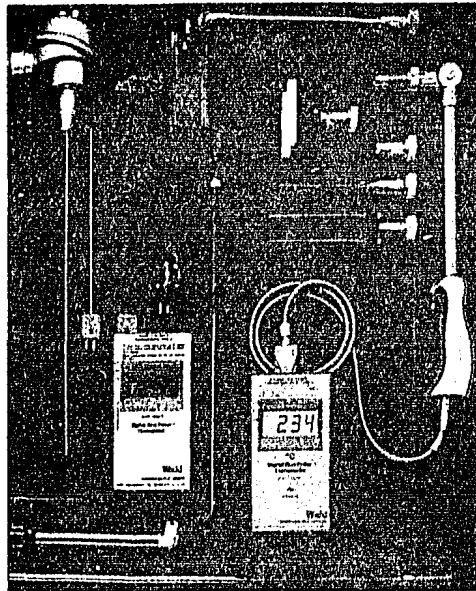
METODO: Detectores.

CARACTERISTICAS:

Proveen datos térmicos que no pueden obtenerse con los termómetros. Sus detectores intercambiables vienen en una variedad de tipos, c/u para una diferente temperatura y escala de flujo térmico. La señal de cada sensor es convertida en un valor de flujo -



Analizador de combustible Digital (FYRIZER-Modelo 200)



térmico mediante el indicador director MR y este valor se muestra en forma digital - en  $W/m^2$  o  $Kcal/m^2h$  junto con la temperatura.

**CAMPO DE APLICACION:**

Ahorro de energía, control de seguridad - en hornos, determinación del efecto de aislamiento térmico, etc.

Termómetros portátiles de contacto.

**MARCA:** WAHL Instruments, Inc. E.U.A.

**MODELO:** HEAT-PROBER

**RANGO DE MEDIDICON:** Tipo K 0 a 2000°F o 0 a 1370°C.  
Tipo S 200 a 1770°C

**EXACTITUD:** + 0.3% en lectura.  
+ 1 digital

**METODO:** Sensor, termocople.

**CARACTERISTICAS:**

Tiene una amplia selección de sondas, enchufables e intercambiables diseñados para medición en superficies, líquidos, gases, semisólidos, etc. Es un completo sistema de medición de temperatura digital portátil de alto funcionamiento con un rango de respuesta rápida. Automáticamente corrige a cero. La exactitud de la medición de la temperatura

ra depende de la designación de la sonda para el objeto deseado.

**CAMPO DE APLICACION:**

Se usan para mediciones eficientes en la industria para el mantenimiento preventivo, verificación de calidad, pruebas de ingeniería, procesamiento y conservación de energía.

Fotografía - detectora.

MARCA: WAHL Instruments, Inc. E.U.

MODELO: HEAT SPY PHOTO-SCAN

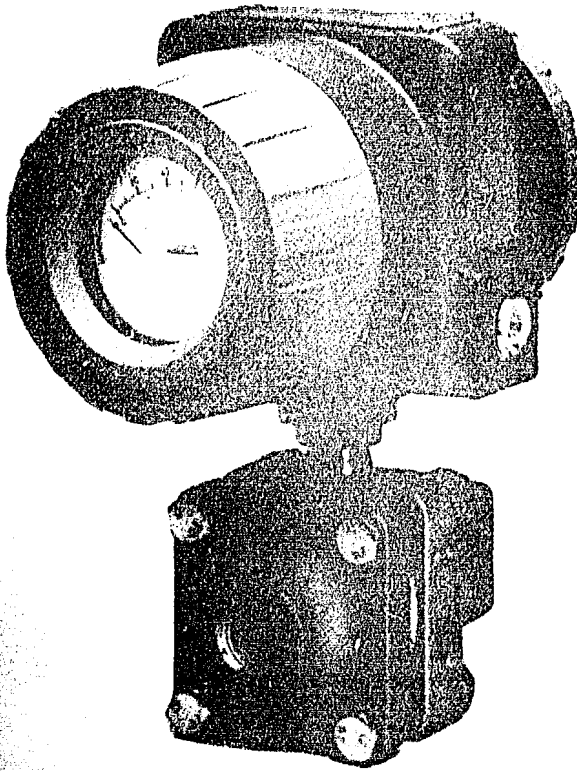
METODO: Rayos infrarrojos.

RANGO DE MEDICION: Capacidad hasta 1000°C

SENSIBILIDAD: 0.5°C a 25°C

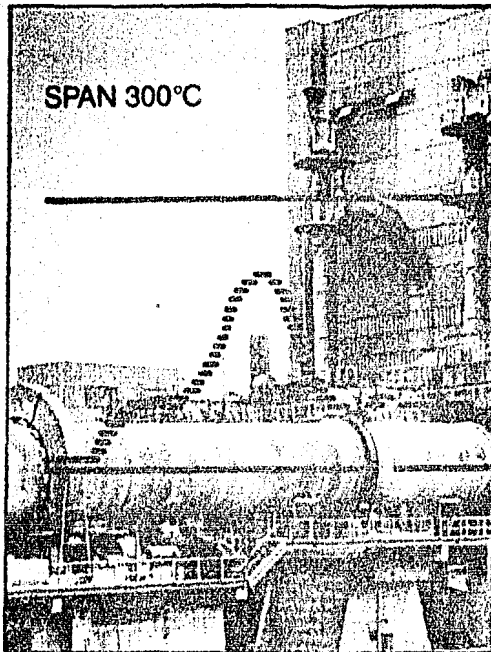
**CAMPO DE APLICACION:**

Este método lo podemos utilizar para obtener un perfil de temperatura en plantas o inspeccionar el poder calorífico eléctrico etc. y así ayudar para la conservación de la energía.



Transmisor de presión

(FOXBORO 821)



Fotografía-detectora

(HEAT SPY Photo-Scar)

**CARACTERÍSTICAS:**

Detecta, compara, mide y fotográficamente registra el perfil de la temperatura verdadera, sobreponiendo trazos sobre la tarjeta.

La cámara fotográfica de rayos infrarrojos para medir temperatura incluye baterías recargables. También contiene 2 paquetes de película. Adaptación para montar cámara y conectores. Colocación de otras escalas de temperatura Fotómetro.

Radiómetro detector de pérdidas de energía.

MARCA: WILLIAMSON CORP.

MODELO: VIEW TEMP. 2200

RANGO DE MEDICION: 50 a 300 °C

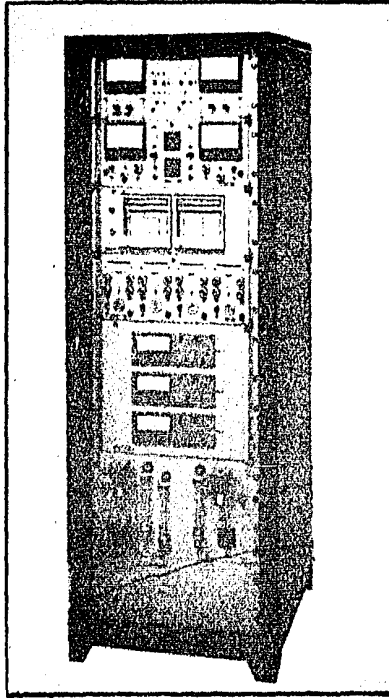
EXACTITUD:  $\pm 1\%$  de la escala completa.

METODO: Radiación.

**CARACTERÍSTICAS:**

Es portátil, permite la medición instantánea sin contacto, tiene circuito de retorno automático a cero que posee el funcionamiento lineal libre de oscilaciones, el instrumento puede montarse en un trípode y funcionar con CA de 115/230 V para monitoreo a largo plazo.





Medidor y control de la combustión (HERRMANN MORITZ)



Radiómetro detecta pérdidas de energía (VIEW TEMP 2200)

CAMPO DE APLICACION:

Mide la temperatura de los tubos de vapor, barras colectoras y otros equipos en áreas inaccesibles o en ambientes nocivos.

Transmisor de Presión.

MARCA: THE FOXBORO COMPANY E.U.

MODELO: SERIE 821

RANGO DE MEDICION: 0 hasta 6000 lb/pulg<sup>2</sup>

Los tipos de presión absoluta van desde --  
0 a 9.5 mm de Hg hasta 0 a 600 lb/pulg<sup>2</sup>.

EXACTITUD:  $\pm$  0.2% de la gama calibrada.

METODO: Con tecnología de alambre resonante.

CARACTERISTICAS:

Tiene una estabilidad tres veces más que la ofrecida por los de su tipo, con efectos ambientales mejorados, con efectos mínimos por cambios de temperatura o exceso de la gama de presión. Perceptores de cobalto-níquel-cromo, para lograr resistencia universal a la corrosión. Componentes electrónicos encapsulados, protección contra interferencia de RF que lo hace virtualmente insensible a las señales de radiofrecuencia. La tecnología de alambre resonante, caracterizada por el hecho de que la frecuencia de un alambre excitado -

eléctricamente cambia a medida que cambia la presión, es excepcionalmente exacta y es table a largo plazo,

CAMPO DE APLICACION:

Este instrumento tiene no solo aplicación en laboratorio, sino también dentro de los ambientes de producción y elaboración más severos.

Rotámetro.

MARCA: SCHUTTE & KOERTING.

MODELO: FLO-THRU

RANGO DE MEDICION: 0.3 a 1514 l/ min. de agua.

EXACTITUD:  $\pm$  2% de la escala total.

CARACTERISTICAS:

Estos rotámetros proveen señales de salida normales, neumáticas de 0.21 a 1.05 kg/cm<sup>2</sup> manométricas y electrónicas de 4 a 20 mA y 10 a 50 mA. Para su fácil limpieza están equipados con un tubo de medición metálico, los dispositivos están acoplados magnéticamente al flotador del tubo de medición.

CAMPO DE APLICACION:

Se utilizan para casi todos los casos de flujo de líquidos o gases, sean de alta presión, bajo caudal, fluidos peligrosos u operaciones de dosificación.

Detector de O<sub>2</sub>

MARCA: MINE SAFETY APPLIONCES Co. E.U.

MODELO: 4000

EXACTITUD: Tiempo de respuesta 20 seg. maz. hasta el -  
90% de un incremento,

METODO: Detector Electroquímico (Tipo célula de --  
combustible)

CARACTERISTICAS:

Medición continua de O<sub>2</sub> en una corriente de muestra.

Tolerancia a la mayoría de los componentes de la corriente de muestra, incluso el CO<sub>2</sub>, módulos detector y de lectura separados y - un gran medidor analógico lineal.

Flujómetro.

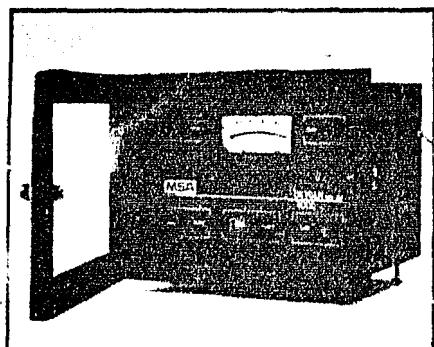
MARCA: FOXBORO COMPANY E.U.

MODELO: VORTEX DE FOXFORO.

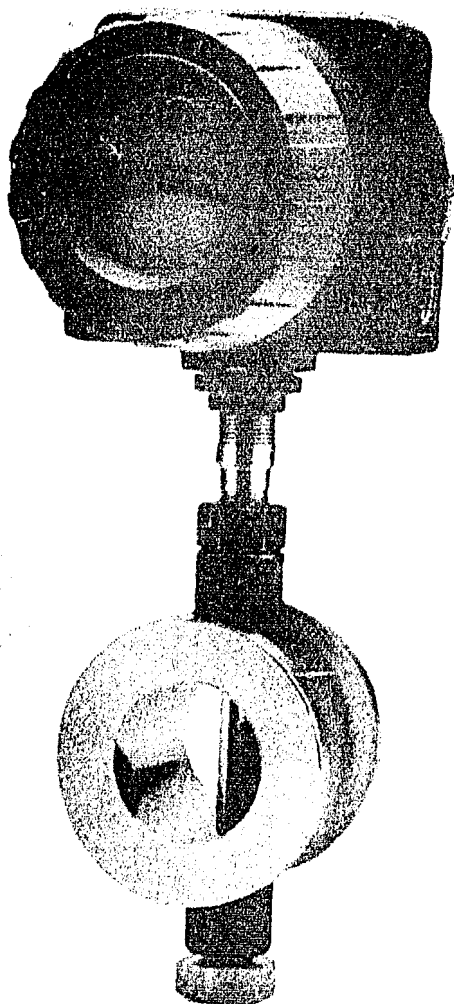
EXACTITUD: Tiene alto grado de precisión y amplia ga  
mabilidad.

CARACTERISTICAS:

No tiene piezas móviles, tiene salida analó  
gica o de impulsos, componentes reempla--  
zables en el lugar de trabajo, tamaños de li  
neas de 2 a 8 pulgadas bajo consumo de ener  
gía y la capacidad de manejar fluidos ca---



Detector de O<sub>2</sub> (Modelo 4000)



lientes, cáusticos o sucios,

**CAMPO DE APLICACION:**

Mediciones de líquidos, gas o vapor con un simple manómetro.

Medidor de Flujo.

MARCA: Fischer & Porter

MODELO: Love-meter

EXACTITUD: 1% en todo el rango de medición.

**CARACTERISTICAS:**

Salida digital, que brinda capacidad de totalización sin accesorios externos, una gamabilidad de cuando menos 10 a 1, indicador analógico integrado, de gran visibilidad, - cambio de gama inmediata, sin calibración.

**CAMPO DE APLICACION:**

Este instrumento es utilizado en donde quiera que se necesite medir flujo de líquidos, gases.

Medidor de flujo.

MARCA: Fischer & Porter

MODELO: CAPA-X

RANGO DE MEDICION: Señales de salida 0/4 a 20 mA de CC

EXACTITUD: Pulso de salida operacional. 0-10KHz.

**CARACTERÍSTICAS:**

Es compacto, el convertidor de señales y el impulsor están montados directamente en el medidor, lo que permite una simple instalación.

El instrumento se ofrece en tamaños DN 15 a 250, con forros de goma dura o PTFE (politetrafluoruro de etileno).

**CAMPO DE APLICACION:**

Mide y controla el flujo de lodos y suspensiones y líquidos de baja viscosidad.

**Análizador de Humedad.**

MARCA: PHOTOVOLT CORP. E.U.

MODELO: AQUATEST IV

RANGO DE MEDICION: 10 g a 10 mg de agua.

EXACTITUD: 10 g o 1%

VELOCIDAD: 563 g/min.

**COMPENSACION:**

Corrección de interferencia para velocidades de hasta 30% del valor de titulación.

**CARACTERÍSTICAS:**

Tiene control de microprocesador para realizar análisis de humedad más simples, rápidos y limpios.

**CAMPO DE APLICACION;**

Se utiliza para cualesquiera que sean las necesidades de la industria en cuestión de medición de humedad; así industrias tales como la alimentaria, petroquímica, farmacéutica, cosmética, química etc. tiene gran aplicación.

Medidor y controlador de la combustión.

MARCA: HERRMANN-MORITZ FRANCIA

**CARACTERISTICAS:**

Este nuevo conjunto de instrumentos de medición consta de 3 monitores retirables -- deslizantes, uno para  $O_2$ , otro para CO y otro para  $CO_2$ .

Cada bastidor deslizante tiene dos alarmas que pueden usarse individualmente para encender lámparas de señal, hacer funcionar alarmas audibles o abrir válvulas; puede añadirse a este conjunto registradores o analizadores para  $H_2$  o  $H_2O$ .

**CAMPO DE APLICACION:**

Diseñado para optimizar el funcionamiento de las calderas a gas, carbón, petróleo y domésticos quemadores de desperdicios.

Monitor de Eficiencia de Combustión.

MARCA: SELMEC





Monitor de eficiencia de combustión (F.E.M.)

MODELO: F.E.M.

EXACTITUD: Autocalibración.

METODOS: Celda Electro-Química para detectar el contenido de oxígeno. Y por medio de un termopar níquel-cromo/níquel-aluminio se evalúa la temperatura.

**CARACTERISTICAS:**

Pesa menos de un kilo y medio y realiza su función de medición en menos de un minuto, además de que no requiere entrenamiento especial por parte del operador. Su medición se realiza por medio de un microprocesador, el cual permite realizarla con una gran rapidez. Las lecturas de porcentaje de eficiencia, temperatura y porcentaje del contenido del Oxígeno se muestran al oprimir el botón de selección.

**CAMPO DE APLICACION:**

Se puede utilizar en cualquier horno o caldera que utilice como combustible gas, cualquier tipo de líquido, como aceite diesel, petróleo, etc, o en cualquier horno o caldera que utilice combustible sólido.

Optimizador de Combustible.

MARCA: NEOTRONICS.

MODELO: P.C.O.

METODO: SENSORES.

OXIGENO-ELECTROQUIMICO

MONOXIDO DE CARBONO-ELECTROQUIMICO

TEMPERATURA-TERMOCOPLE TIPO K CROMO

RANGO DE MEDICION: MONOXIDO DE CARBONO 0-3999 ppm

OXIGENO 0-20.9%

TEMPERATURA 25-999°C

EFICIENCIA 0-100%

EXACTITUD: MONOXIDO DE CARBONO  $\pm 2.5$

OXIGENO  $-0.1\% + 0.4\%$

TEMPERATURA  $\pm 1\%$

CARACTERISTICAS:

Es un estuche compacto donde contiene los aparatos detectores de las variables. Los sensores de oxígeno tienen un tiempo de duración de 8 meses y los sensores para el monóxido de carbono de 2 años, para la medición de temperatura se utiliza el termocople de Ni-Cr/Ni-Al. Utiliza un microprocesador con el cual controla la operación del PCO, y calcula la eficiencia de la combustión.

CAMPO DE APLICACION:

Se aplica en la medición de la eficiencia de la caldera de una forma eficiente y rápida al igual que nos proporciona el contenido de oxígeno y monóxido de carbono, temperatura. El porcentaje en la eficiencia de la combustión está asociado con el exceso de aire.

Revestimiento.

MARCA: THURMALOX 260

## CARACTERISTICAS:

Este revestimiento es a base de resina de silicona copolimerizada que contiene un catalizador termoactivado.

El calor irradiado por el substrato caliente mismo activa el catalizador, realizando la polimerización del revestimiento y produciendo luego un acabado cocido u horneado al cual es químicamente resistente y similar a los acabados horneados en fábrica.

## CAMPO DE APLICACION:

Los revestimientos han sido desarrollados específicamente para su aplicación a superficies calientes (hasta 204 °C). Estos revestimientos también secan al aire y pueden aplicarse a superficies a temperatura ambiente, ofrecen también una duradera protección contra la corrosión y las condiciones del tiempo. Así también reduce o elimina la necesidad del cierre de la planta, beneficiándose del calor generado por los equipos en funcionamiento.

#### 4.1.4).- ANALISIS DE OPERACION

##### RELACIONES CAUSA/EFEECTO,

A continuación analizaremos cada una de -- las corrientes que se muestran en la figura (7), del bloque esquemático bajo estudio.

##### PURGAS.

##### DEFINICION:

Es la operación mediante la cual se extrae una mezcla de agua y vapor que contiene impurezas tales como: sólidos, lodos, espumas, etc.

##### OBJETIVO:

Mantener en condiciones de operación aceptables la caldera, al evitar las incrustaciones de la flusería y los domos.

##### DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Un tratamiento deficiente del agua de alimentación que aleje los parámetros de medición de los indicados en la tabla (4) hace que se tenga una gran cantidad de sólidos, los cuales provocan incrustaciones, corrosión, espuma, arrastre y fragilización; ya que, se ha demostrado experimentalmente, que una incrustación de 1,6 mm produce una pérdida en conductividad de 12% (8).

Lo anterior puede observarse por un bajo rendi---

miento de la caldera y una elevación de la temperatura en los gases de escape; también por análisis directo de la caldera.

#### SOLUCION PROPUESTA:

Establecer en forma por demás minuciosa y rutinaria análisis para evaluar la calidad del agua de alimentación; guiando de esta forma la oportunidad y la duración de las purgas (tanto de fondo como de superficie).

Por otro lado, el calor liberado por las purgas tradicionalmente se pierden a la atmósfera vía drenaje, - con los consiguientes problemas de contaminación por temperatura y sólidos en el lecho de los arroyos.

Otra solución, integral desde el punto de vista termoenergético, es la utilización de ese calor para elevar la temperatura del agua de alimentación a la unidad.

A continuación se presentan en los dibujos (11), (12) y (13) tres arreglos propuestos para la recuperación del calor de las purgas.

En el dibujo (11) se muestra el sistema de tanque flash. En el tanque flash se hace la separación de las purgas; ya que éstas son una mezcla de líquido y vapor, al hacer la separación, el vapor es usado para calentar el agua de alimentación y el líquido junto con las impurezas es descargado al medio ambiente y desechado, logrando con esto una recuperación aproximada del 50% de la energía que llevan las purgas.

En el dibujo [12] se muestra el sistema de tanque flash y cambiador de calor. La diferencia de este sistema con el anterior es el uso del fluido con las impurezas, el cual es pasado por un cambiador de calor en el cual se precalienta el agua de alimentación a la caldera (repuesto), en este sistema se recupera aproximadamente un 75% del calor de la purga.

En el dibujo [13] se muestra un diagrama de recuperación de purgas con el uso de un cambiador de calor.

La instalación de un separador centrífugo para las purgas también se recomienda, dado que separa las impurezas, utilizándose después por uno de los sistemas mencionados anteriormente.

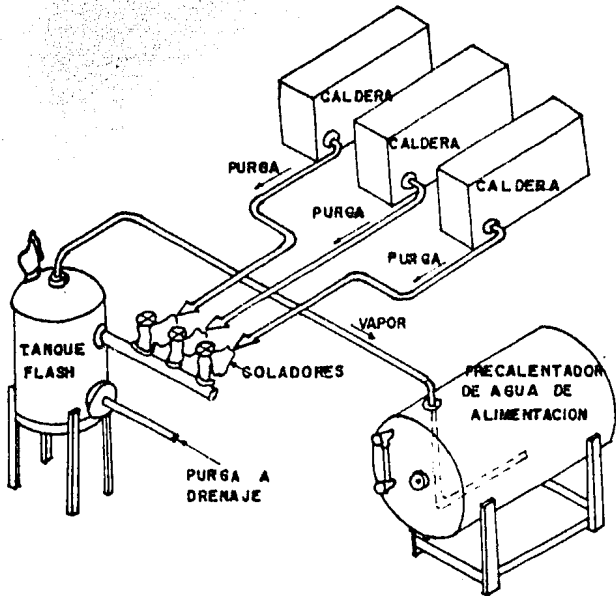
Una instalación tipo para varias calderas sería el que se muestra en el dibujo [14].

TABLA (4)

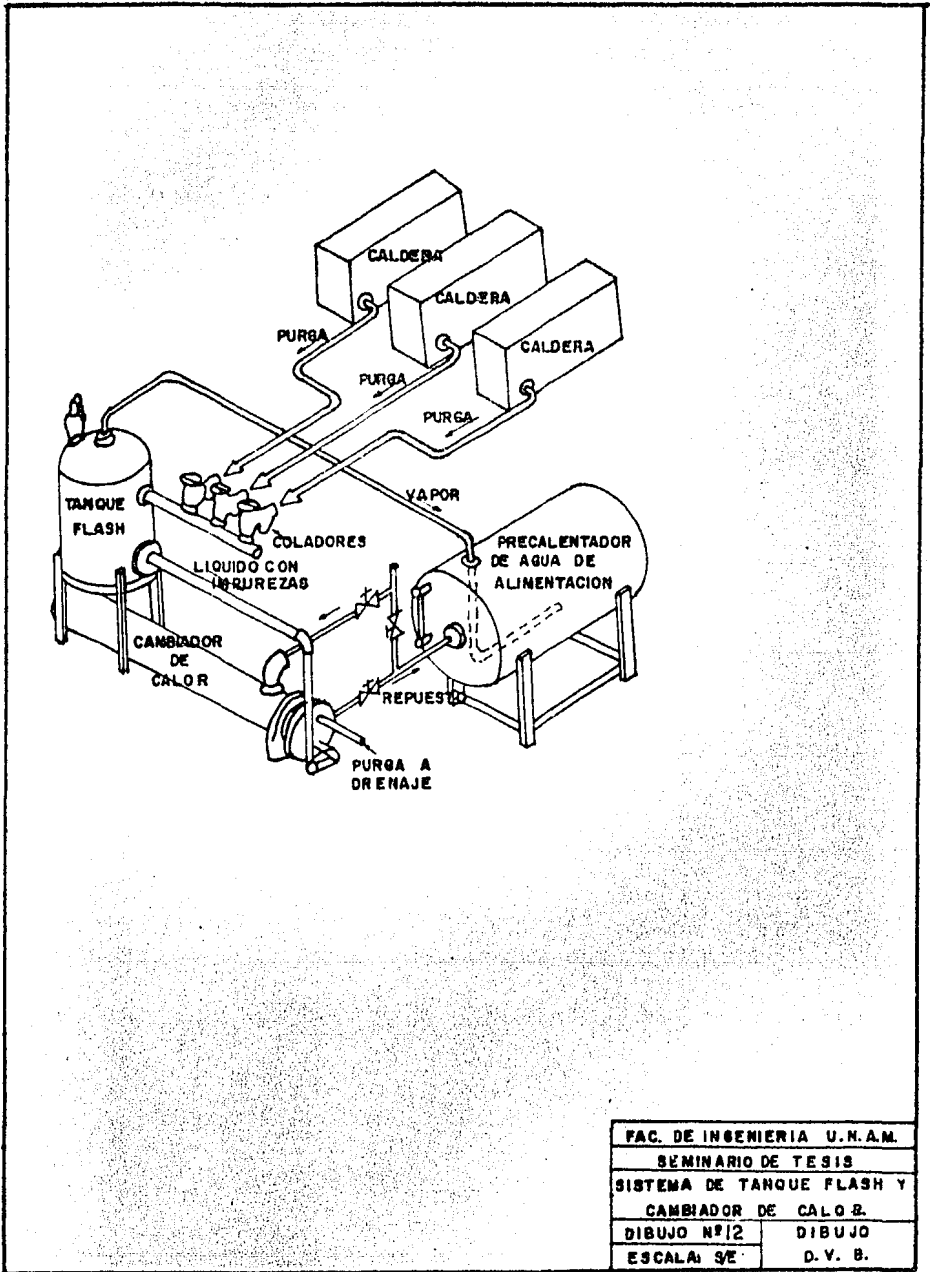
## TRATAMIENTOS DEL AGUA DE ALIMENTACION A CALDERAS.

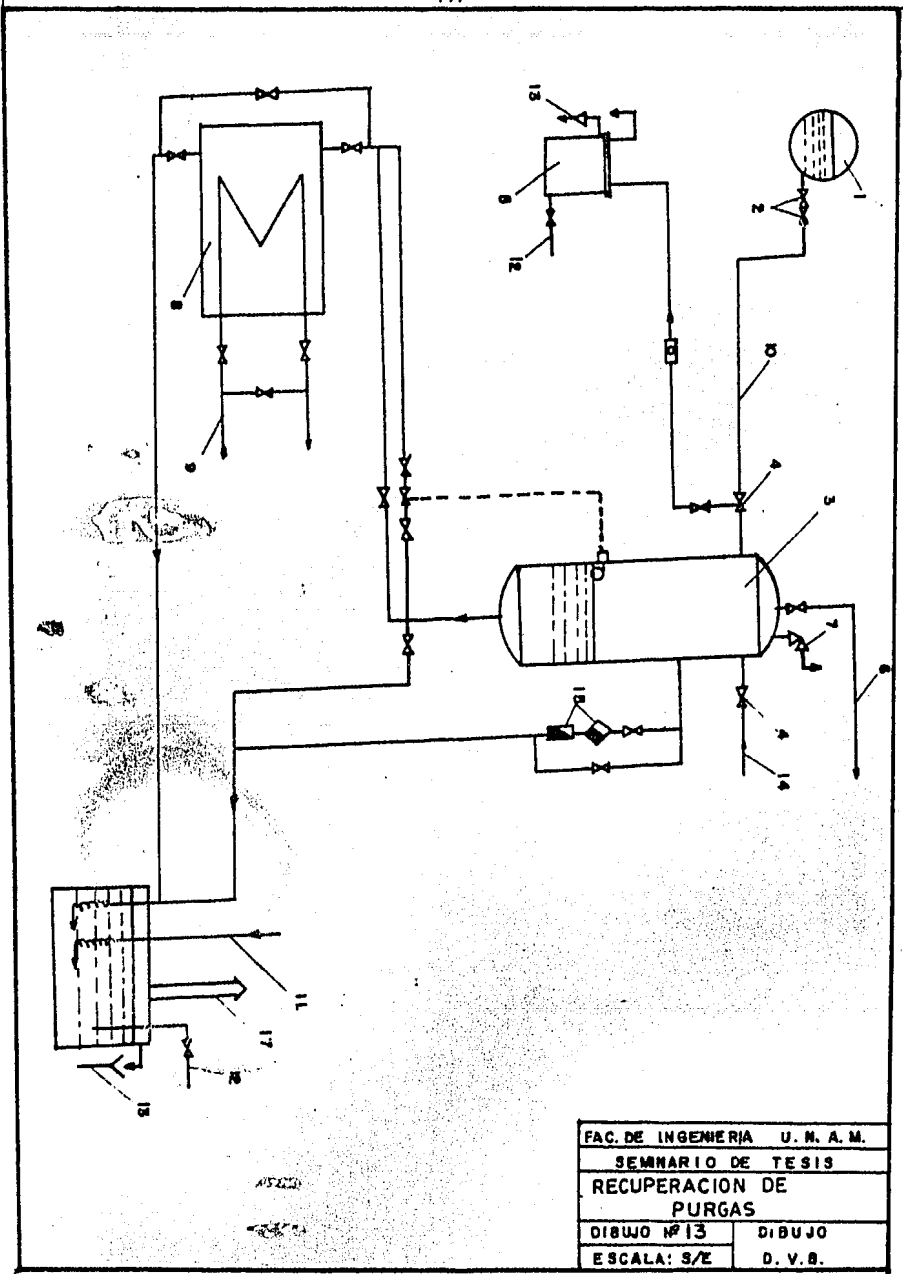
IMPUREZAS	DAÑO	LIMITE DE TOLERANCIA EN AGUA DE ALIMENTACION	CLASE DE TRATAMIENTO
O <sub>2</sub>	CORROSION	0.03 cc por litro	Desoxidación química Desareacción térmica
CO <sub>2</sub>	"	3ppm	Desareacción térmica
SALES DE Ca, Mg	INCRUSTACION	20 (baja presión) a 2 (alta presión) ppm como CaCO <sub>3</sub>	Tratamiento externo Tratamiento interno
Fe	"	Trazas	Cambio de base
SiO	ARRASTRE INCRUSTACION	40 (baja presión) a 5 (alta presión) ppm	Desionización
ALCALINIDAD DE Na	FRAGILIZACION	5ppm como CaCO <sub>3</sub> a alta presión variable a baja presión	Neutralizador de ácido
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	ARRASTRE	de 1000 (alta presión) 3500 (baja presión) ppm	Dilución
TURBIDEZ	LODO, SEDI-MENTOS	5ppm o menos	Coagulación Sedimentación Filtración
ACEITE	ESPUMA	5ppm o menos	Coagulación Filtración Soplado superficial





FAC. INGENIERIA U.N.A.M.	
SEMINARIO DE TESIS	
SISTEMA DE TANQUE FLASH	
DIBUJO N° 11	
ESCALA: 3/E	DIBUJO Q.V.B.



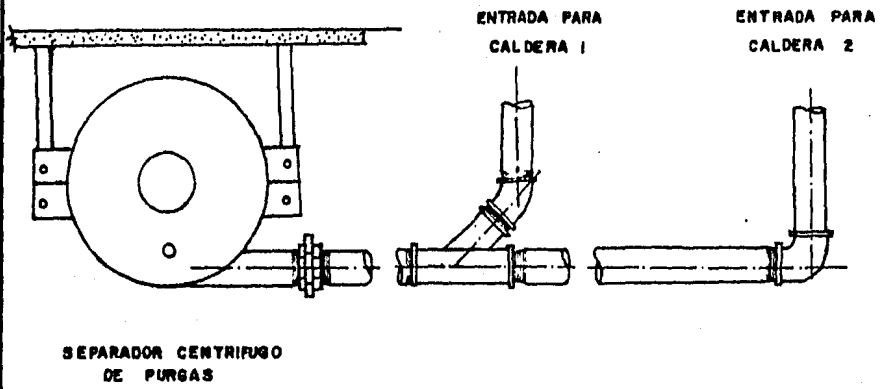


FAC. DE INGENIERIA U. N. A. M.	
SEMINARIO DE TESIS	
RECUPERACION DE PURGAS	
DIBUJO Nº 13	DIBUJO
ESCALA: 5/8	D. V. B.

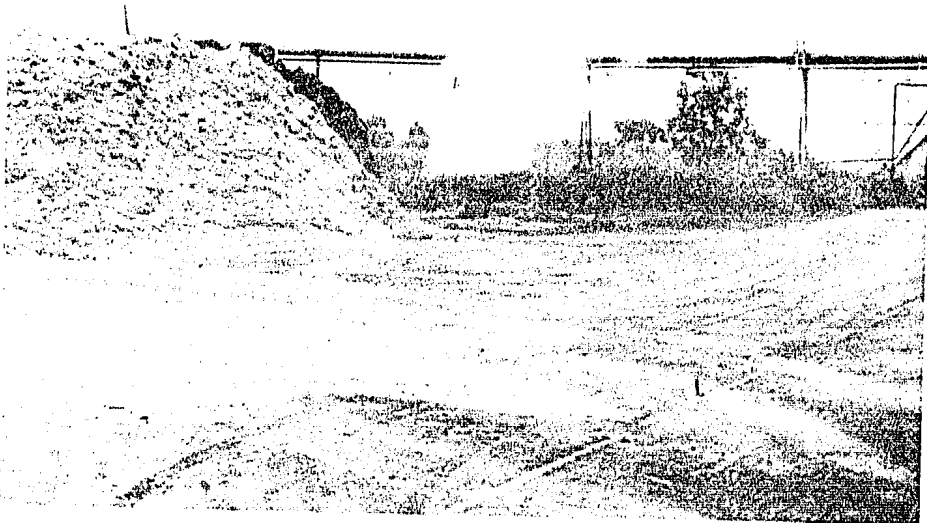
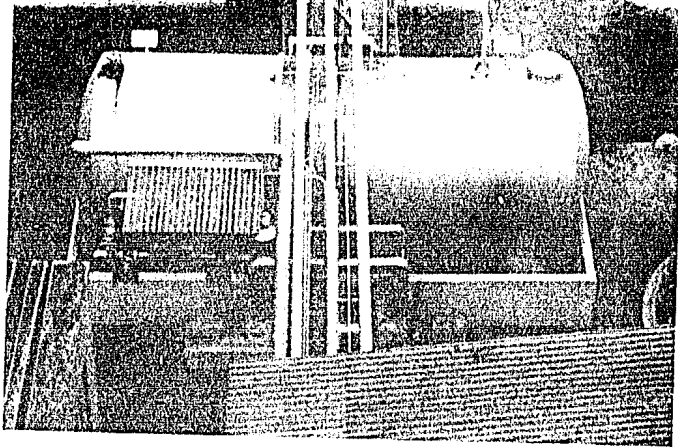
## Partes constituyentes del dibujo (13).

- 1.- Domo superior del generador de vapor.
- 2.- Válvula de cierre.
- 3.- Amplificador.
- 4.- Válvula reguladora de estrangulación
- 5.- Enfriador para tomar muestras de agua de caldera.
- 6.- Vapor al deareador.
- 7.- Válvula de seguridad.
- 8.- Intercambiador.
- 9.- Agua químicamente purificada.
- 10.- Agua de soplado del generador de vapor.
- 11.- Agua de soplado periódico del generador de vapor.
- 12.- Agua de enfriamiento.
- 13.- Drenaje.
- 14.- Agua de soplado del generador de vapor con tigo.

- 15.- Dispositivo para garantizar el paso del amplificador.
- 16.- Borbotador (o pozo de soplado).
- 17.- A la atmósfera.



FAC. INGENIERIA U. N. A. M.	
SEMINARIO DE TESIS	
SEPARADOR CENTRIFUGO DE PURGAS	
DIBUJO N° 14	DIBUJO
ESCALA: 3/4	D. V. B.



Desaprovechamiento de calor por purgas a

## AGUA TRATADA

## DEFINICION:

Es aquella que ha sido sometida a proceso de ablandamiento, para reducir a un mínimo permisible las impurezas, ya sean por medios químicos o mecánicos.

## OBJETIVO:

Evitar problemas de operación en la caldera, tales como:

Incrustaciones, corrosión, espumaje, etc.. También reponer el agua que se pierda durante el proceso, ya sea en purgas, fugas en accesorios y por flasheos a la atmósfera.

## DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Un mal tratamiento del agua nos provocará, seguramente, los problemas mencionados anteriormente; y un exceso o falta de ésta en el suministro, nos provocaría problemas en la caldera, por alto o bajo nivel. Dichos problemas pueden ocasionar que se presente arrastre de agua (líquido) o que se llegue al punto de quemado de la caldera (fundido de los tubos).

## SOLUCIONES PROPUESTAS:

Ajustarse a los parámetros que se indican en la tabla (4), garantizando la eliminación del  $O_2$  y  $CO_2$  disueltos en el agua, mediante el uso de deareadores con diseño -

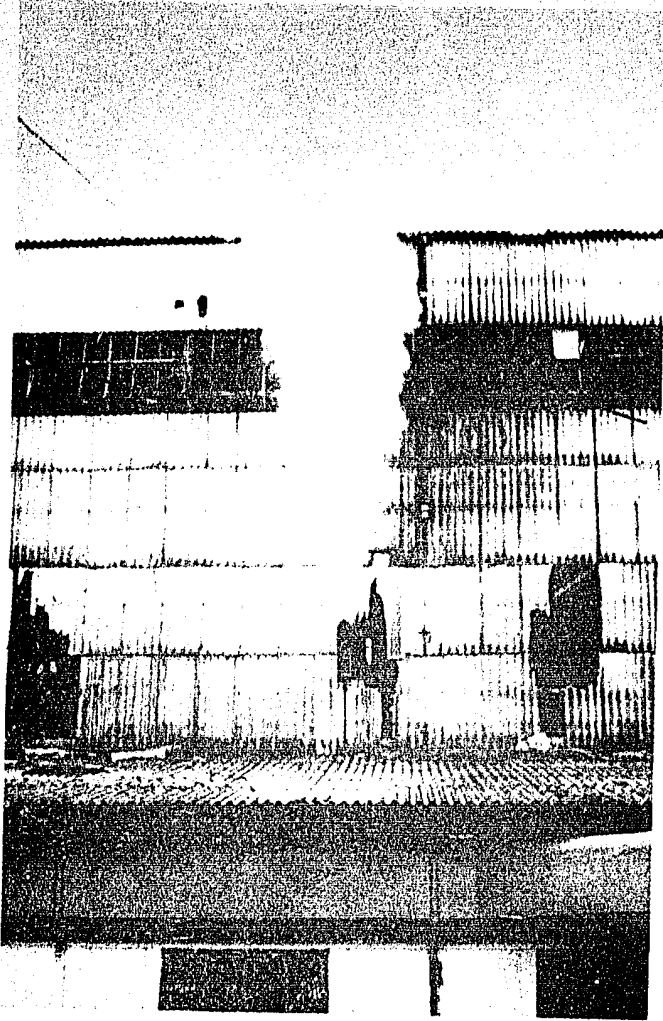


eficiente como el que se muestra en el dibujo (15). Cuidar sobremanera la operación de la unidad (fase automática y/o manual), sobre todo en lo que a nivel se refiere.

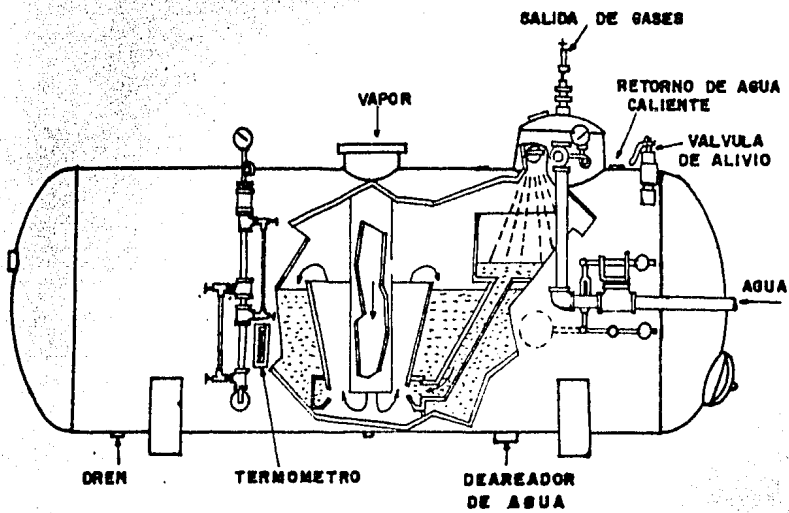
En el dibujo (15) se muestra un deareador, el cual es usado para eliminar el  $O_2$  y el  $CO_2$  disueltos en el agua y es el tratamiento indicado en la tabla (4) como desaereación térmica. La desaereación se logra de la manera siguiente:

Se mezcla agua fría atomizada y vapor, al atomizar el agua muchos de los gases corrosivos son removidos y la desaereación completa se logra al mezclar los dos flujos.

En el dibujo (15) se muestra un deareador mostrando las entradas y el flujo de vapor, así como algunos de los instrumentos para controlar su operación.



Pérdidas de vapor por flasheos a  
la atmósfera.



FAC. DE INGENIERIA U.N.A.M.	
SEMINARIO DE TESIS	
DEAREADOR	
DIBUJO N° 15	DIBUJO
ESCALA: S/E	D. V. B.

## GASES DE ESCAPE.

## DEFINICION:

Son los que se liberan a la atmósfera (gases de combustión), una vez que han cedido gran parte de su energía al agua.

## OBJETIVO:

Impulsarlos al medio ambiente con la menor temperatura posible.

## DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

La alta temperatura de los gases y por consiguiente la pérdida de energía, se debe principalmente a:

- a).- El hollín que se deposita en la cara expuesta a los gases que van a la chimenea. Se ha demostrado experimentalmente que el hollín es un excelente aislante de calor (8).
- b).- Porciones estancadas de gas.
- c).- Mamparas en mal estado.
- d).- Alta velocidad de los gases.

## SOLUCIONES PROPUESTAS:

- A).- Sopladores de hollín, lanzas de vapor y ce--

pillos.

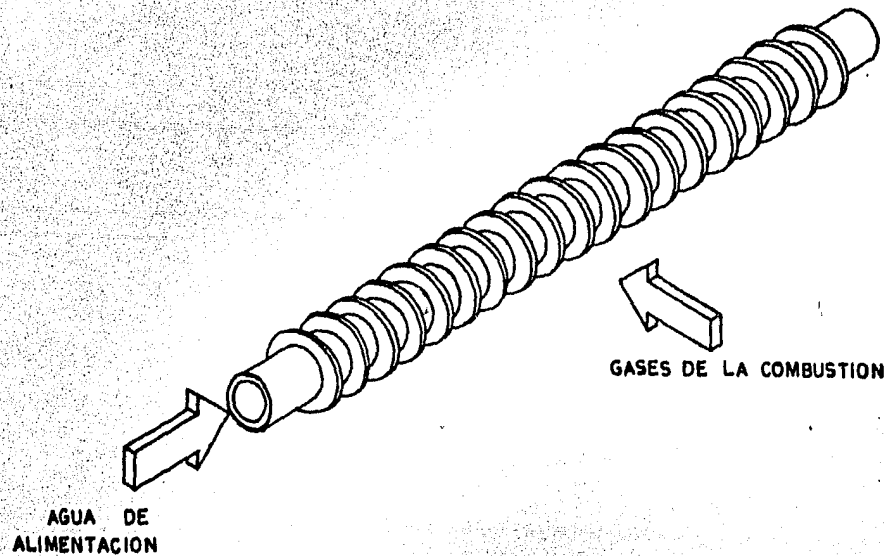
b). - Velocidad adecuada de los ventiladores.

c). - Revisión periódica de mamparas.

d). - Velocidad adecuada de los ventiladores.

Para recuperar todavía el calor, se propone usar donde no existan, economizador y precalentador de aire, - con lo cual aumenta la eficiencia de la unidad en su conjunto.

El uso de superficie extendida mejora el intercambio de calor en la unidad. A continuación se muestra un tubo aletado de los que se usan frecuentemente en economizadores, dibujo (16).



FAC. INGENIERIA U. N. A. M.	
SEMINARIO DE TESIS	
SUPERFICIE EXTENDIDA EN EL ECONOMIZADOR	
DIBUJO N° 16	DIBUJO
ESCALA: 5/E	D. V. B.

COMBUSTIBLE NO QUEMADO Y CENIZAS

DEFINICION:

Es aquél que no alcanzó a oxidarse completamente.

Cenizas: Son los materiales incombustibles contenidos en el combustible.

OBJETIVO:

Minimizar la proporción de combustible no quemado.

DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Las causas del combustible no quemado son:

- a).- Insuficiente aire.
- b).- En combustibles sólidos que se queman en pilas.
- c).- La humedad del combustible, la cual es mayor en combustibles sólidos.

La cuantificación del combustible no quemado se hace al extraerlo.

SOLUCIONES PROPUESTAS:

- a).- Controlar la relación aire-combustible.

- b).- Pulverizar los combustibles sólidos; atomizar los y/o peletizarlos (bagazo de caña).
- c).- Someterlos a un proceso de secado previo a -- la alimentación.





Combustible sin quemar extraído  
con las cenizas.

## CONDENSADO

### DEFINICION:

Agua que retorna a la caldera al cambiar de fase de vapor a líquido.

### OBJETIVO:

Disminuir el volumen de agua de repuesto, aprovechando el calor que tiene esta corriente.

### DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

La contaminación del vapor en el proceso provoca problemas a la caldera si se retroalimenta en forma de condensado.

El agua de alimentación debe tener aproximadamente como mínimo de 71°C a 82°C ya que cada caída de 10°C representa aproximadamente una pérdida de 1% en la eficiencia de la unidad (7).

### SOLUCIONES PROPUESTAS:

Hacer análisis continuos del condensado para determinar el grado de contaminación.

Usar un economizador para que la alimentación se efectúe dentro del rango de temperatura indicado arriba.

Recuperar al máximo el condensado proveniente de los equipos de proceso.

AIRE

## DEFINICION:

Es una mezcla de gases, formada por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de gases inertes, hidrógeno y vapor de agua.

## OBJETIVO:

Actuar como comburente al reaccionar con el combustible, liberando energía calorífica; el objetivo en sí, es que se libere la máxima cantidad de energía posible.

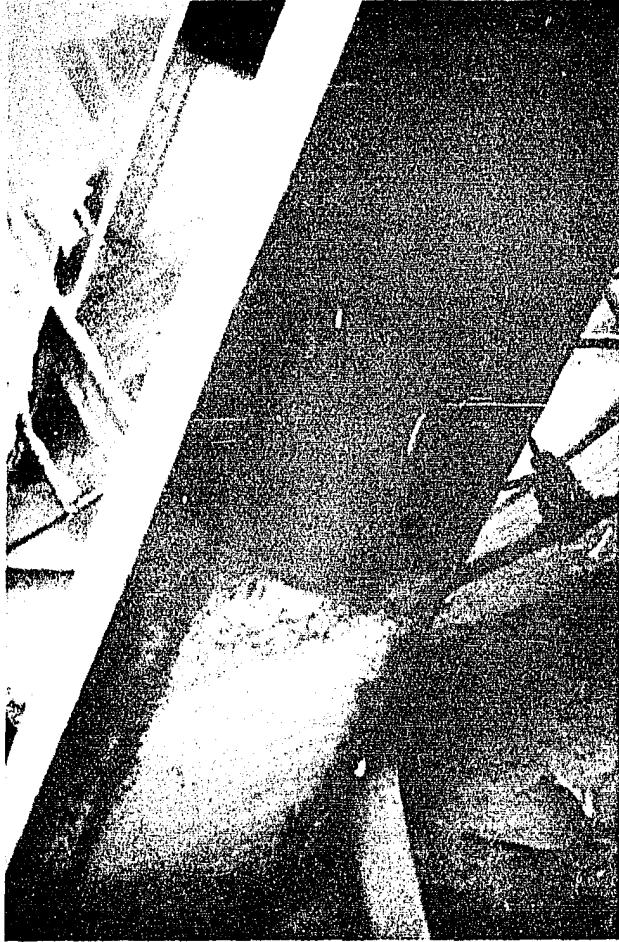
## DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

El no suministrar el aire en la proporción adecuada, provocaría una combustión incompleta, con lo que se reduce la cantidad de energía liberada.

Suministrando el aire a baja temperatura, aumenta la cantidad requerida, con el consiguiente exceso, y por lo tanto, la cantidad del flujo de gases.

## SOLUCIONES PROPUESTAS:

Precalear el aire y suministrarlo en la proporción adecuada, acorde con el balance de tiros en la unidad.



Introducción de aire frío al horno. Lo cual ocasiona pérdidas de poder calorífico.



Combustión mal balanceada por descuido en  
la relación aire-combustible.

VAPOR

## DEFINICION:

Estado gaseoso del agua.

## OBJETIVO:

Obtener el vapor en las condiciones de presión y temperatura requeridas para su uso como fluido de trabajo (accionamiento de primotores y como elemento de calefacción en el proceso).

## DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Cuando las condiciones no son las requeridas, tales como presión demasiado alta o baja, esto repercutirá en daño físico en tubería, válvula y accesorios y/o en mayores consumos de vapor.

El arrastre de agua (líquido) representa quizás el factor más dañino para los primotores.

## SOLUCIONES PROPUESTAS:

Vigilar estrechamente la operación de la unidad (forma manual).

Instalar un sistema sencillo de control de tres elementos, tales como: Presión, nivel en el domo y agua de alimentación.

COMBUSTIBLE.

DEFINICION:

Sustancia capaz de oxidarse y liberar energía calorífica.

OBJETIVO:

Aprovechar toda la energía liberada por una oxidación completa, para generar vapor.

DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Un mal suministro, alejado de la proporción adecuada de combustible, no liberaría toda la energía calorífica disponible en el mismo.

La humedad contenida en el combustible requiere el consumo adicional de la energía calorífica propia del combustible para evaporar la humedad y elevar la temperatura hasta el punto de ignición. Lo anterior baja la eficiencia de la unidad.

SOLUCIONES PROPUESTAS:

Lograr un buen control sobre la relación aire-combustible.

Someter el combustible a un proceso de secado en el caso de los combustibles sólidos, tales como el bagazo de caña, con humedad mayor de 50% de su peso.

## RADIACION.

### DEFINICION:

Energía transmitida por ondas, en nuestro caso - de las paredes del generador de vapor hacia el medio ambiente.

### OBJETIVO:

Reducir al mínimo estas pérdidas.

### DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS:

Un mal aislamiento de las paredes, o un deterioro de este, provocará seguramente fuertes pérdidas de calor al medio ambiente, en forma de radiación.

Esto puede observarse por altas temperaturas en la superficie exterior del generador, ya sea por contacto directo, o bien a una distancia razonable de esta.

### SOLUCIONES PROPUESTAS:

Revisar el cálculo que sirvió de base para la selección del tipo de material y espesor; cuidando de comprobar periódicamente el estado físico del mismo, reponiendo las partes dañadas.



#### 4.1.5).- METODOLOGIA DE EVALUACION

##### 4.1.5.1).- CALCULO DE LA EFICIENCIA TERMICA EN UN GENERADOR DE VAPOR.

#### METODO DIRECTO. ( 7)

Para realizar estas pruebas, las mediciones deben enfocarse para determinar el suministro y rendimiento de los valores de flujo del agua y combustible, así como la temperatura, presión y composición del combustible.

#### 1.- Procedimientos de prueba.

La caldera estará a prueba a diferentes valores de flujo de vapor sobre el rango en que esté operando. Entre sucesivas pruebas los valores de flujo no deberán variar en  $\pm 10\%$  del valor de la capacidad promedio.

Se recomiendan los siguientes procedimientos de prueba:

- 1.- Instalar instrumentos de calibración.
- 2.- Operar la caldera por una hora a la presión deseada, previamente, al comienzo de la prueba.
- 3.- Marcar el nivel de agua en el indicador del domo superior.
- 4.- Ejecutar la prueba por una hora aproxima

damente, leyendo:

- temperatura cada 10 minutos.
- presión cada 10 minutos.
- valores de flujo cada 15 minutos o el total de flujo durante la hora de prueba.

- 5.- Parar la prueba cuando el nivel de agua en la caldera está en la misma posición, como cuando empezó.

Los valores de flujo, temperatura y presión, deberán permanecer constantes durante la prueba. Esto es necesario para reducir la incertidumbre en la evaluación de los resultados.

## 2.- Eficiencia de la caldera.

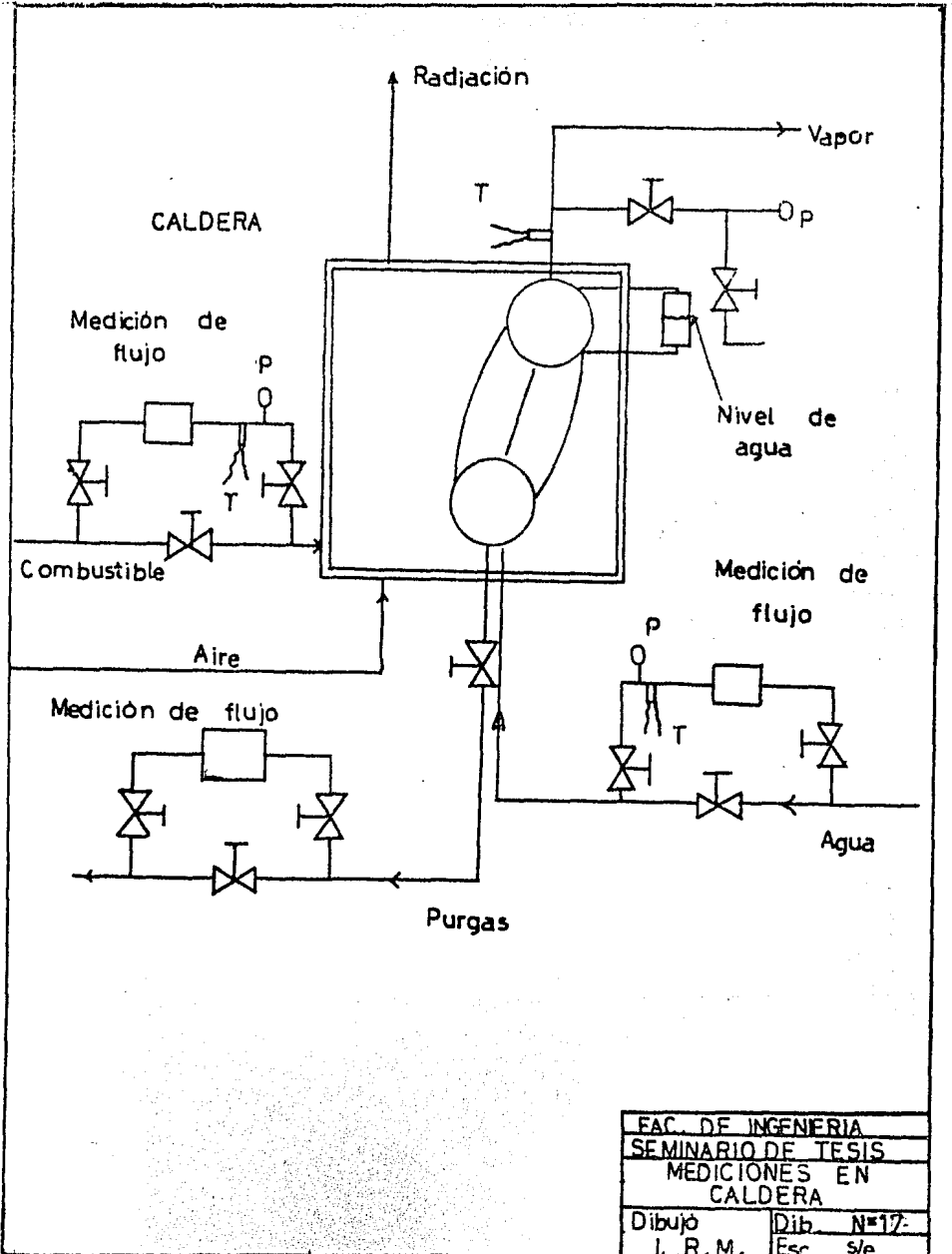
La eficiencia de una caldera es definida como.

$$\eta = \frac{M_v (h_{vs} - h_{ae})}{M_c (\text{HHV}) + W}$$

donde:

HHV = Poder calorífico alto del combustible (Btu/lb).

$h_{ae}$  = Entalpía del agua de entrada a la caldera (Btu/lb).



FAC. DE INGENIERIA	
SEMINARIO DE TESIS	
MEDICIONES EN CALDERA	
Dibujó	Dib. N°17-
L. R. M.	Esc. s/e

$h_{vs}$  = Entalpfa del vapor a la salida de la caldera (Btu/lb).

$M_c$  = Valor de masa del flujo del combustible (lb/h).

$M_v$  = Valor de masa del flujo de vapor (lb/h)

$$(M_v = M_c - \text{Purgas})$$

$\eta$  = Eficiencia de la caldera.

$W$  = Trabajo requerido para ventiladores -- (aproximadamente cero).

Las mediciones necesarias para calcular la eficiencia se presentan en la gráfica siguiente:

Sin incluir purgas, estas son:

Para agua de entrada a la caldera.

Valores de flujo,  $M_c$ ,  $M_c = M_v$

Temperatura ( $T_4$ )

Presión ( $P_4$ )

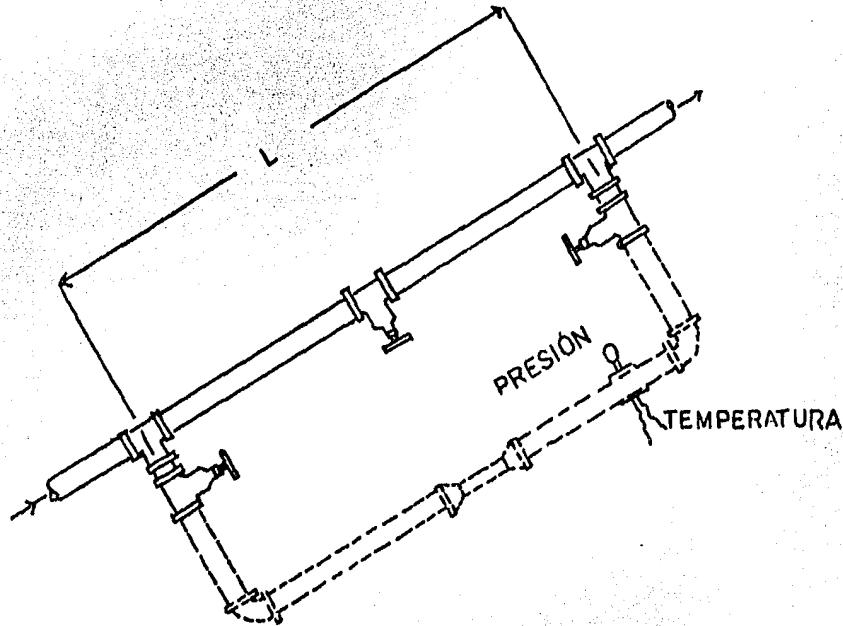
Para el vapor a la salida de la caldera.

Temperatura ( $T_{vs}$ )

Presión ( $P_{vs}$ ) o calidad ( $X_{vs}$ ) el vapor está saturado.

Para el combustible.

Valores de flujo,  $M_c$



FACULTAD DE INGENIERIA	
SEMINARIO DE TESIS	
Bypass DERIVACION	
DIBUJO	DIBUJO N° 18
I. R. M.	ESCALA S/E

Temperatura ( $T_1$ )

Presión ( $P_1$ )

Poder calorífico alto del combustible (HHV)

El poder calorífico alto del combustible es usualmente obtenido enviando para el análisis de laboratorio una muestra.

3.- Tablas de mediciones.

Las mediciones necesarias para determinar la eficiencia son las siguientes.

Agua de Alimentación

Valores de flujo	Temp. (F)	Presión (lb/in <sup>2</sup> g)
------------------	-----------	--------------------------------

Vapor

Valor de flujo	Temp. (F)	Presión (lb/in <sup>2</sup> g)	Calidad (si es saturado)
----------------	-----------	--------------------------------	-----------------------------

Combustible

Valor de flujo	Temp. (F)	Presión (lb/in <sup>2</sup> g)	HHV (Btu/lb)
----------------	-----------	--------------------------------	-----------------

4.1,5.2). - RECOMENDACIONES Y MEJORAS COMPLEMENTARIAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA TERMICA EN LA GENERACION DE VAPOR (9)

- 1.- Se deben reparar todas las grietas que existen en las paredes y demás entradas de aire incontroladas al generador de vapor, en chutes, mirillas, puertas, etc.
- 2.- Se deben aislar todas las tuberías que conduzcan fluidos calientes en la planta de generación de vapor según los espesores normados.
- 3.- Se requiere dar mantenimiento profundo a todos los sopladores de hollín, así como a sus válvulas.
- 4.- Instalar palancas de comprobación manual a todas las válvulas de seguridad, con vista a comprobar su funcionamiento en forma periódica.
- 5.- Mantener dos niveles de agua directos a cada caldera, o garantizar el funcionamiento de un directo y un remoto.
- 6.- Eliminar los depósitos de cenizas sobre el techo de las calderas.
- 7.- Utilizar alimentadores rotatorios de bagazo a los hornos, para regular su caída.
- 8.- Se debe instalar un conductor de banda de hule para facilitar la extracción de cenizas, con vista a reducir

cir el período de limpieza de los hornos.

- 9.- Instalar parrillas en los hornos, para proporcionar mayor cantidad de aire con miras a mejorar el quemado del bagazo en la pila.
- 10.- Instalar donde se requieran trampas en las líneas de vapor que van a quemadores.
- 11.- Se debe limpiar, reparar y comprobar las placas de orificios de los medidores de flujo de cada caldera, determinando si son los correctos para los flujos manejados. Se debe hacer lo mismo con el instrumento registrador.
- 12.- Se debe comprobar y calibrar el funcionamiento de los termómetros instalados y los medidores de CO<sub>2</sub> en los gases.
- 13.- Garantizar que los instrumentos para medir presión y temperatura del petróleo a la entrada de los quemadores y presión de vapor funcionan adecuadamente.
- 14.- Se debe instalar un lazo de regulación del suministro de aire del ventilador de tiro forzado de acuerdo al flujo de petróleo que se combustione. En caso que se instalen alimentadores de bagazo, este lazo debe establecerse también con ellos.
- 15.- Se deben instalar indicadores y controles automáticos de tiro en las calderas.



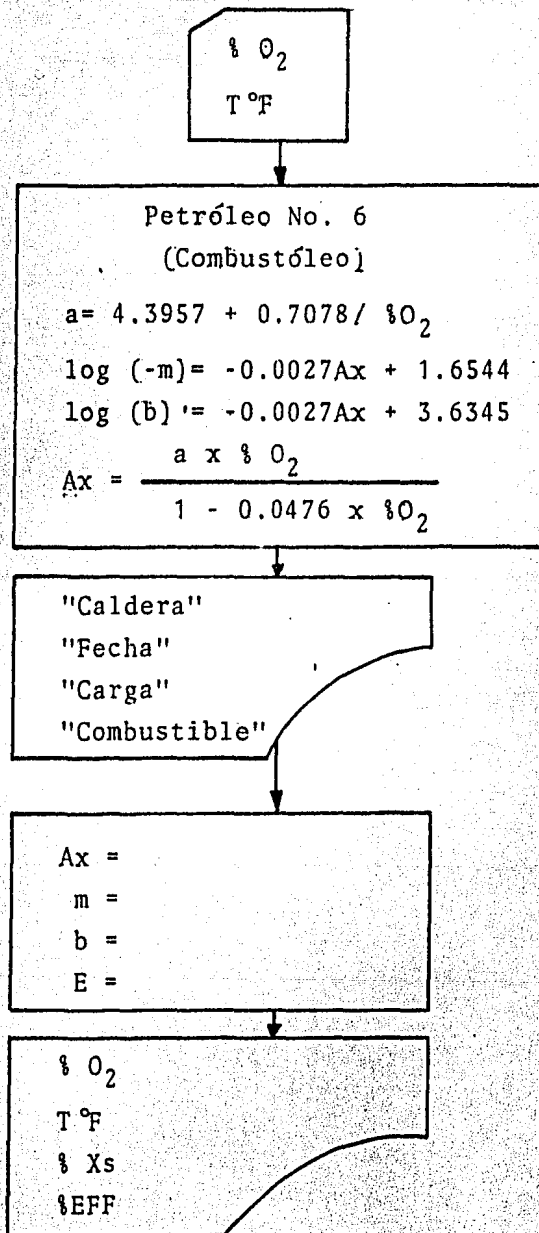
- 16.- Se debe instalar un lazo de regulación de combustible de acuerdo al flujo de vapor individual a cada caldera.
- 17.- Se debe efectuar una limpieza exterior a todas las superficies metálicas de las calderas, con vista a eliminar las incrustaciones de hollín.
- 18.- Se debe efectuar una limpieza interior de la fluse-  
ría con el objetivo de eliminar las incrustaciones interiores por medios químicos o mecánicos.
- 19.- Se deben examinar todos los tubos de la caldera y en especial los componentes del sobrecalentador, con -  
vista a detectar tubos ampollados o con un grado --  
avanzado de erosión, para que sean substituídos en el período de reparaciones.
- 20.- Se debe bloquear y comprobar la hermeticidad de los calentadores de aire por medio de aire a presión --  
(0.7 Kg/cm<sup>2</sup>), así como efectuar la limpieza mecánica interior de los tubos.
- 21.- Se debe efectuar una revisión con vista a detectar zonas de alta corrosión en domos y colectores.
- 22.- Se debe efectuar la revisión y engrase de los coji-  
netes de los ventiladores de tiro forzado, así como verificar el punto de balance del rotor.
- 23.- Efectuar la prueba hidrostática a 1.25 presión de -  
trabajo antes y después de las reparaciones.

#### 4.1.5.3] - PROGRAMA Y CALCULO NUMERICO.

La eficiencia de una caldera está en relación con el calor que sale (vapor y purgas) y con el calor que entra (combustible, agua de alimentación y aire para la combustión).

El porcentaje de exceso de aire es determinado por análisis de los gases de escape de la caldera, principalmente el  $O_2$  y  $CO_2$  considerando que los gases -- consisten solamente de  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , o sea una combustión completa.

A continuación se presenta un programa que calcula la eficiencia de una caldera así como el porcentaje de exceso de aire en base a datos como la temperatura de los gases de escape y el porcentaje de oxígeno en los mismos, obtenidos mediante alguno de los dispositivos de medición considerados en el inciso 4.1.3).



Donde:

Xs=Ax= Porcentaje de exceso de aire de combustión.

EFF= Eficiencia

O<sub>2</sub>= Porcentaje de oxígeno en el flujo de gas

SENEHARIB FALL  
 INGENIERIA DE MINAS  
 EFICIENCIA  
 CALDERAS

000	76	LEL
001	1	A'
002	40	STD
003	00	00
004	9	R/S
005	76	LEL
006	13	B
007	42	STD
008	03	02
009	9	R/S
010	76	LEL
011	10	A'
012	86	STF
013	00	00
014	00	0
015	0	1
016	09	9
017	04	4
018	05	5
019	06	6
020	40	STD
021	05	05
022	9	.
023	0	7
024	00	0
025	07	7
026	08	8
027	42	STD
028	1	11
029	04	4
030	9	.
031	03	3
032	04	9
033	05	5
034	07	7
035	42	STD
036	12	12
037	93	.
038	0	1
039	08	5
040	42	STD
041	11	13
042	9	.
043	08	8

044	42	STD
045	14	14
046	0	1
047	04	4
048	93	.
049	02	2
050	42	STD
051	15	15
052	00	0
053	9	R/S
054	76	LEL
055	17	B'
056	20	INV
057	80	STF
058	00	00
059	00	0
060	03	2
061	02	2
062	08	8
063	08	8
064	00	2
065	42	STD
066	05	05
067	93	.
068	06	6
069	0	1
070	02	2
071	05	5
072	85	+
073	40	STD
074	1	11
075	04	4
076	93	.
077	06	6
078	04	4
079	0	1
080	09	9
081	42	STD
082	12	12
083	93	.
084	0	1
085	07	7
086	42	STD
087	13	13
088	0	1
089	93	.
090	09	9
091	42	STD
092	14	14
093	0	1
094	05	5
095	93	.

096	05	5
097	43	STD
098	15	15
099	00	0
100	9	R/S
101	70	LBL
102	15	E
103	25	CLR
104	69	DP
105	00	00
106	0	1
107	05	5
108	0	1
109	03	3
110	02	2
111	07	7
112	0	1
113	06	6
114	0	1
115	07	7
116	69	DP
117	0	01
118	03	3
119	05	5
120	0	1
121	03	3
122	00	0
123	00	0
124	00	0
125	00	0
126	00	0
127	00	0
128	69	DP
129	02	02
130	69	DP
131	05	05
132	25	CLR
133	69	DP
134	00	00
135	02	2
136	0	1
137	0	1
138	07	7
139	0	1
140	05	5
141	69	DP
142	0	01
143	02	2
144	03	3
145	0	1
146	03	3
147	00	0

148	00	0
149	00	0
150	00	0
151	00	0
152	00	0
153	69	DP
154	03	02
155	69	DP
156	05	05
157	25	CLR
158	69	DP
159	00	00
160	0	1
161	05	5
162	0	1
163	03	3
164	03	3
165	05	5
166	69	DP
167	0	01
168	02	2
169	02	2
170	0	1
171	03	3
172	00	0
173	00	0
174	00	0
175	00	0
176	00	0
177	00	0
178	69	DP
179	02	02
180	69	DP
181	05	05
182	25	CLR
183	69	DP
184	00	00
185	53	(
186	43	RCL
187	1	11
188	55	÷
189	43	RCL
190	00	00
191	85	+
192	43	RCL
193	12	12
194	54	)
195	65	×
196	43	RCL
197	00	00
198	55	÷
199	53	(

200	0	1
201	75	-
202	93	.
203	00	0
204	04	4
205	07	7
206	06	6
207	65	*
208	42	RCL
209	00	00
210	54	)
211	95	=
212	42	STD
213	06	06
214	60	PAU
215	60	PAU
216	60	PAU
217	87	IFF
218	00	00
219	00	00
220	00	00
221	39	CDS
222	68	NOP
223	03	3
224	03	3
225	0	1
226	07	7
227	03	3
228	07	7
229	69	DP
230	0	01
231	03	3
232	05	5
233	03	3
234	02	2
235	02	2
236	07	7
237	0	1
238	0	1
239	03	3
240	02	2
241	69	DP
242	02	02
243	00	0
244	00	0
245	00	0
246	00	0
247	00	0
248	00	0
249	00	0
250	00	0
251	00	0

252	00	0
253	69	DP
254	00	03
255	69	DP
256	05	05
257	98	ADV
258	93	.
259	00	0
260	00	0
261	00	2
262	07	7
263	94	+/-
264	65	*
265	42	RCL
266	06	06
267	85	+
268	0	1
269	93	.
270	06	6
271	05	5
272	04	4
273	04	4
274	95	=
275	22	INV
276	28	LDG
277	94	+/-
278	42	STD
279	07	07
280	93	.
281	00	0
282	00	0
283	02	2
284	07	7
285	94	+/-
286	65	*
287	42	RCL
288	06	06
289	85	+
290	03	3
291	93	.
292	06	6
293	03	3
294	04	4
295	05	5
296	95	=
297	22	INV
298	28	LDG
299	42	STD
300	03	03
301	76	LBL
302	30	TAN
303	94	+/-

304	85	+
305	42	RCL
306	02	02
307	95	=
308	55	+
309	43	RCL
310	07	07
311	95	=
312	42	STO
313	09	09
314	06	6
315	01	1
316	00	0
317	00	0
318	03	3
319	02	2
320	00	0
321	03	3
322	69	DP
323	04	04
324	43	RCL
325	00	00
326	69	DP
327	06	06
328	03	3
329	07	7
330	05	5
331	07	7
332	06	6
333	05	5
334	02	2
335	01	1
336	69	DP
337	04	04
338	43	RCL
339	02	02
340	69	DP
341	06	06
342	06	6
343	01	1
344	00	0
345	00	0
346	04	4
347	04	4
348	03	3
349	06	6
350	69	DP
351	04	04
352	43	RCL
353	06	06
354	69	DP
355	06	06

356	06	6
357	01	1
358	01	1
359	07	7
360	02	2
361	01	1
362	02	2
363	01	1
364	69	DP
365	04	04
366	43	RCL
367	09	09
368	69	DP
369	06	06
370	20	CLR
371	69	DP
372	00	00
373	98	RDV
374	43	RCL
375	09	09
376	98	R/S
377	76	LBL
378	39	CDS
379	01	1
380	04	4
381	01	1
382	03	3
383	02	2
384	02	2
385	69	DP
386	01	01
387	01	1
388	03	3
389	04	4
390	06	6
391	03	3
392	02	2
393	02	2
394	00	0
395	03	3
396	03	3
397	69	DP
398	02	02
399	01	1
400	07	7
401	03	3
402	07	7
403	03	3
404	05	5
405	03	3
406	02	2
407	02	2

408	07	7
409	69	OP
410	00	03
411	69	OP
412	05	05
413	98	ADV
414	25	CLR
415	69	OP
416	00	00
417	93	.
418	00	0
419	00	0
420	00	2
421	05	5
422	94	+/-
423	65	x
424	43	RCL
425	06	06
426	85	+
427	07	1
428	93	.
429	06	6
430	00	3
431	07	1
432	00	2
433	20	INV
434	28	LDG
435	94	+/-
436	42	STD
437	07	07
438	93	.
439	00	0
440	00	0
441	02	2
442	05	5
443	94	+/-
444	65	x
445	43	RCL
446	06	06
447	85	+
448	00	3
449	93	.
450	06	6
451	09	9
452	95	=
453	20	INV
454	28	LDG
455	42	STD
456	00	08
457	94	R/S

CALDERA  
FECHA  
CARGA  
PETROL80

10.2 % 02  
378. T: 'F  
93.60884777 % XS  
80.53007514 %EFF

CALDERA  
FECHA  
CARGA  
PETROL80

10.2 % 02  
378. T: 'F  
90.13645038 % XS  
81.16073151 %EFF

CALDERA  
FECHA  
CARGA  
PETROL80

14. % 02  
300. T: 'F  
197.2395064 % XS  
72.86083209 %EFF



A continuación se muestra el listado de resultados obtenidos para los valores de eficiencia en una caldera con economizador y de otra que no lo tiene, manteniendo el mismo % de  $O_2$ .

CALDERA	FECHA	CARGA	PETROLEO	% $O_2$	T. $^{\circ}F$	% $NO$	% $CO$
		5					
		350					
	31.52	93438					
	80.69	93438					
CALDERA	FECHA	CARGA	PETROLEO	% $O_2$	T. $^{\circ}F$	% $NO$	% $CO$
		5					
		350					
	31.52	93435					
	80.08	93436					

4.2] - INTERCAMBIO DE CALOR.

4.2.1] - DESCRIPCION DEL EQUIPO

INTERCAMBIADOR DE CALOR.

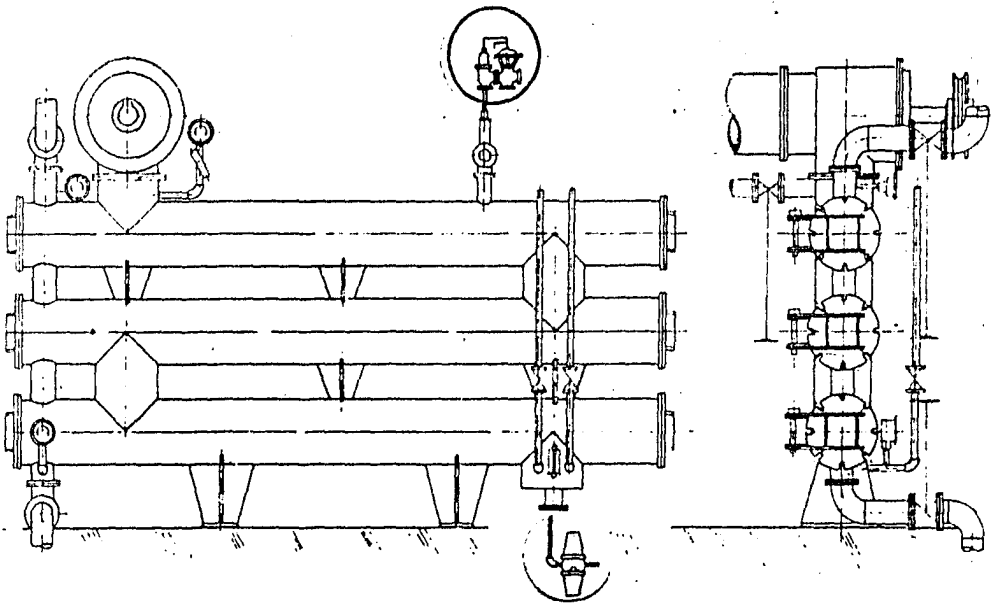


Figura 8 Calentador de fluido, modelo horizontal.

Tiene como característica básica de proyecto, el flujo de "contracorriente" entre el fluido frío y el vapor.

Esta característica confiere al aparato un alto coeficiente de cambio de calor, con alto rendimiento operacional.

El dimensionamiento de las cámaras de calen-

tamiento permite mayor velocidad de flujo, rendimiento --  
térmico elevado y mínima pérdida de carga total.

Este equipo posibilita instalaciones en se-  
rie o en paralelo, con una mínima utilización de espacio.

Las tres cámaras independientes poseen ex-  
tracción de gases incondensables, así como también la re-  
colección de las aguas condensadas.

Este calentador es equipado con tubos de --  
acero-carbono, cobre o acero inoxidable, con diámetro ex-  
terno de 38 mm aproximadamente.

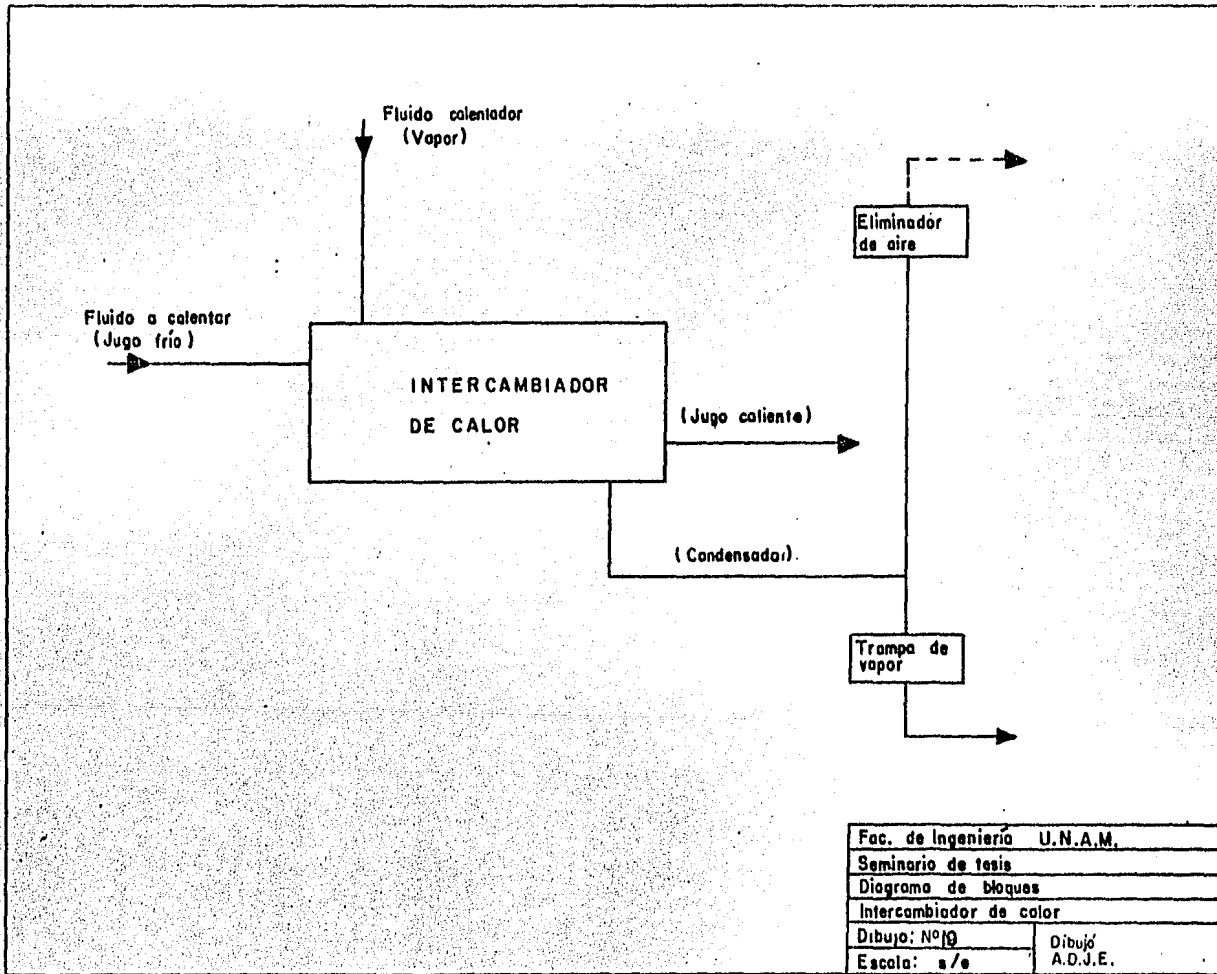
Como accesorios auxiliares, cuenta con una  
trampa de vapor de gran capacidad, operada por trampa pi-  
loto de cubeta invertida.

Consta de:

- a) 1 Cámara filtrante de gran capacidad.
- b) 1 Cuerpo principal conteniendo la válvula princi-  
pal de descarga.
- c) 1 Caja de pistón en la cual se encuentra el pis-  
tón operador de la válvula principal de descarga.
- d) 1 Trampa piloto que sirve como "gatillo" para --  
ocasionar la apertura o cierre de la válvula ---  
principal.

Los cuerpos están contruados de hierro fundido de contextura cerrada. Los mecanismos son de acero inoxidable o acero al cromo, resistentes a la corrosión y al desgaste.

Finalmente, un eliminador de aire (de Acción Compuesta, dispositivo automático, descarga rápidamente - grandes cantidades de aire y de gases incondensables, evitando así daños al equipo por sobrepresiones en su interior.



#### 4.2.2)- ANALISIS TERMODINAMICO, DETERMINACION DE VARIABLES.

A continuación planteamos la ecuación general de balance de energía:

$$m_v h_{lg} = m_j C (t - t_o) + h_c A (t_w - t_a) + \sigma \epsilon A (t_w^4 - t_a^4) + \Delta P m_j + \gamma m_v h_c + \beta m_v h_{lg} + f m_v h_{lg}$$

El primer término es la cantidad de calor -- transmitido al jugo y está dado por la siguiente expresión:

$$M = pc(T - t_o) \left( 1 - e^{-\frac{KS}{pc}} \right) \quad (10)$$

donde:

M = cantidad de calor transmitido al jugo, - Kcal/hr.

p = peso del jugo por calentar, en Kg/hr.

c = calor específico del jugo, en Kcal/kg-°C

T = temperatura del vapor que calienta, en °C

t<sub>o</sub> = temperatura de entrada del jugo frío, en °C

K = coeficiente de transmisión de calor eva-

luada de acuerdo a la ecuación de Hugot modificada:

$$K = \frac{T}{0.1 + \frac{0.08}{V}}$$

en Kcal/m<sup>2</sup>-°C-hr

V = velocidad del jugo en los tubos, en m/seg  
y está dada por :

$$V = \frac{Q}{S'}$$

Q = gasto del jugo, en lt/seg

$$Q = \frac{P}{3600}$$

S' = sección de un paso del jugo en los calentadores, en dm<sup>2</sup>

$$S' = \frac{n\pi d^2}{4}$$

donde:

n = cantidad de tubos en un paso

d = diámetro interior de un tubo, en dm<sup>2</sup>

S = superficie de calentamiento, en m<sup>2</sup>

$$S = \frac{pc}{K} \quad 2.3 \quad \log \frac{T-t_0}{T-t}$$

$t$  = temperatura de salida del jugo caliente,  
en °C

El segundo término representa las pérdidas de calor por convección libre al medio ambiente y está evaluado de la siguiente forma:

$$h_c A (t_w - t_a)$$

donde:

$$h_c = N_{u_a} \frac{\lambda_a}{D_s}$$

$$h_c = 0.50 \left( \frac{g \beta_a \Delta t D_s^3 P_{r_a}}{\nu_a^2} \right)^{0.25} \frac{\lambda_a}{D_s}$$

donde:

$\nu_a$  = viscosidad del aire

$\lambda_a$  = conductividad del aire

$\beta_a$  = coeficiente de expansión

$P_{r_a}$  = número de Prandtl

$D_s^3$  = diámetro del intercambiador

$A$  = área del intercambiador



$t_w$  = temperatura de pared de coraza

$t_a$  = temperatura ambiente

El tercer término representa las pérdidas - por radiación al medio ambiente y está dado por:

$$\sigma \epsilon A (t_w^4 - t_a^4)$$

donde:

$\sigma$  = constante de Boltzmann

$\epsilon$  = emisividad del material

$t_w$  = temperatura de la pared de la coraza

$t_a$  = temperatura ambiente.

El cuarto término  $\Delta P_m$ , representa las pérdidas de energía debido a la formación de incrustaciones en el interior de los tubos por donde circula el jugo.

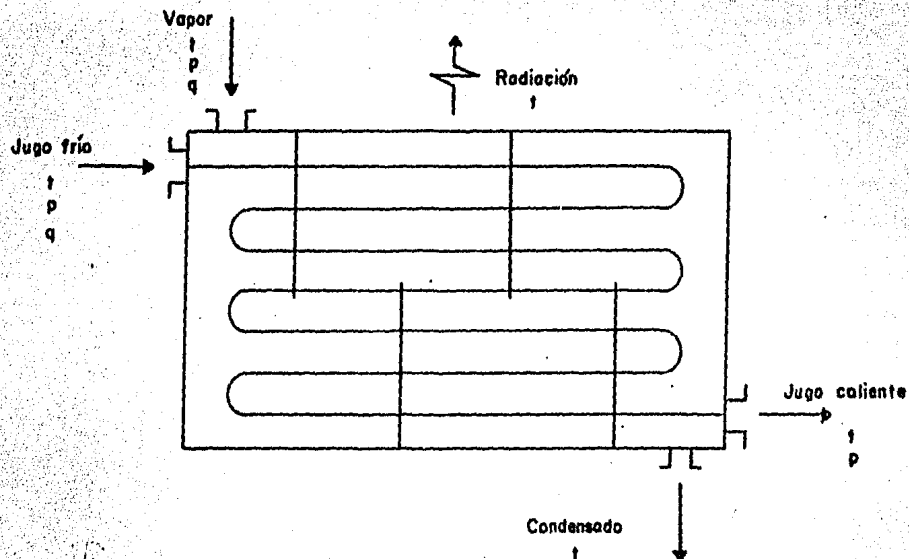
donde:

$P$  = caída de presión debido a incrustación, en mm Hg.

El quinto término  $\gamma_m h_c$  representa las pérdidas de energía debido a la mala extracción de condensado.

El sexto término  $\beta m_v h_{lg}$  representa las pérdidas de energía debido a la presencia de -- aire y gases no condensables.

Por último tenemos  $f m_v h_{lg}$  que vienen a ser -- las pérdidas de energía debido a fugas en -- los tubos. Aquí la variable a analizar es -- la contaminación del vapor por el jugo.



t : temperatura  
 p : presión  
 q : flujo  
 c : concentración

Facultad de Ingeniería U.N.A.M.	
Seminario de tesis	
Variables a medir	
Intercambiador de calor	
Dibujo N° 20	Dibujo Ch.C.C.L.
Escala: s/e	

#### 4.2.3.) - ELEMENTOS DE MEDICION.

##### 4.2.3.1.) - PROCEDIMIENTO.

###### A. - SELECCION DE LOS DATOS QUE SE HAN DE MEDIR.

Una vez que se ha determinado la variabilidad de una operación unitaria, (ver tema 2.0), se clasifica el número de datos que se deben conocer para el cálculo de los balances de materia y de energía. Se deben registrar continuamente tantos datos (o más) como el número de la variabilidad de la operación unitaria.

Algunas mediciones se pueden ahorrar mediante las conclusiones lógicas extraídas del conocimiento de la manera en que opera la unidad. El número real de los parámetros que debe medirse, se puede obtener restando el número de los datos registrados, menos el número de datos eliminados lógicamente y restando aquellos datos determinados mediante los balances de las operaciones adjuntas - del número calculado de las ecuaciones (6) o (7), presentadas en el tema (2.0).

El paso siguiente es decidir cuáles parámetros se deben medir. Para esto es imposible dar una receta general, pero se pueden establecer algunos principios básicos. Si existe la posibilidad de medir más parámetros de los necesarios, se debe seleccionar aquellos que se puedan medir con el más pequeño margen de error relativo. Si es posible, no debe calcularse una cantidad pequeña como una diferencia de dos cantidades, aún cuando éstas pueden medirse muy exactamente.

En algunos casos puede ser muy ventajoso determinar más parámetros de los que son estrictamente necesarios, pues esto permite tener un control interno de las mediciones.

En el caso de los equilibrios entre vapores y líquidos, los datos de presión son generalmente más con fiables que los de temperatura, puesto que los medidores de presión responden más rápidamente a los cambios que -- los termómetros.

#### B.- PREPARACION DEL PROGRAMA DE MEDICION. ORGANIZACION DE LAS MEDICIONES.

Primero que nada se deben instalar las co-- nexiones para los termómetros o los manómetros en los pun-- tos de medición que se haya escogido.

Se debe escoger aquellos instrumentos con el rango de medida adecuado, comprobar su precisión y si es necesario, se deben preparar tablas de corrección.

Cuando todos los instrumentos se han colocado, se debe observar sus fluctuaciones y se debe fijar la frecuencia de lectura en base a la fluctuación que se observe. Por ejemplo, una temperatura razonablemente constante de un proceso más o menos estacionario, debe leerse solo cinco o diez veces a lo largo del período completo de medición, pero un flujómetro que muestre variaciones considerables en el gasto debe leerse cada minuto o aún más frecuentemente.

Como una regla general, si la desviación estandar de las medidas es " $s$ " y su exactitud es " $d$ ", se deben hacer al menos  $s/d$  lecturas. Ya que " $s$ " no se conoce de antemano, se debe estimar su valor durante las observaciones preliminares de los instrumentos.

El período de tiempo de la medición debe establecerse de antemano. Para los procesos de "lotes" se tiene que el período de tiempo es el de un ciclo completo. Para los procesos estacionarios el período debe establecerse de tal manera que las cantidades de las sustancias se puedan medir con un error de más o menos el 1%.

El grupo de medición se debe organizar sabiendo el número de lecturas que se necesita y su período de medición.

En el caso de las campañas de medición de mayor envergadura es razonable organizar al grupo de medición de tal suerte que incluya a una persona sin la tarea de medir, para que coordine las medidas, que tome las decisiones pertinentes en los casos imprevistos y que vigile que los parámetros del proceso no sean alterados por las interferencias "exteriores".

A cada miembro del equipo de medición se le debe instruir acerca de los detalles de sus obligaciones, del tiempo de comienzo y fin de la medición, de la frecuencia de las lecturas. Se le debe dirigir la atención a las posibles irregularidades y se le debe indicar cómo reaccionar en tales casos, etc. Esto es particularmente importante si el grupo comprende personas relativamente

poco instruidas, pero no se debe menospreciar un entrenamiento cuidadoso y detallado aún en el caso en que el grupo esté compuesto por miembros bien entrenados.

#### C.- TRATAMIENTO DE LOS DATOS MEDIDOS.

Para los cálculos se puede usar el promedio aritmético de los datos en la mayoría de los casos (especialmente en el caso de los procesos estacionarios). El uso de los promedios aritméticos lleva a resultados incorrectos solo en el caso en que tanto los parámetros extensivos como los intensivos que se vayan a multiplicar unos con otros tengan grandes desviaciones estandar.

El tratamiento detallado de los datos se hace generalmente luego de concluir la campaña de medición. Sin embargo, es deseable comprobar las mediciones inmediatamente por medio del cálculo de algunos de los datos característicos, pues algunos errores que se comenten durante las mediciones se descubren únicamente en la etapa de los cálculos.

El hecho de que una planta registre sistemáticamente algunos parámetros y, en consecuencia, se conozcan los valores promedio en un período de tiempo prolongado, pero que los valores de algunos parámetros se desvíen significativamente de los antedichos valores promedio es, con mucha frecuencia, una fuente de problemas. En tales casos, no concuerdan (no están en armonía) los datos medidos con los calculados.

Esta divergencia se puede eliminar midiendo los valores verdaderos de los datos registrados durante -

la campaña y corrigiendo los balances, tomando en cuenta la diferencia entre los valores verdaderos y los valores promedio registrados.



## 4.2.3.2.1 - ESTADO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MEDICION

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MÓDerno	AVANZADO
VAPOR	TEMPERATURA T	-Termómetro de vidrio con mercurio interno del tipo industrial. -Termómetro bimetalico del tipo industrial. -Termopar -Termómetro de resistencia.	-Equipos electrónicos, indicadores y/o registradores de temperatura.	-Calcomanías (1) -Detector de temperatura por resistencia con indicador electrónico LCD (2) -Detector de temperatura por termopar con indicador electrónico LCD (3)
	PRESTION P	-Manómetro del tipo Bourdon. -Columna de vidrio llena de mercurio. -Manómetro de fuelles simples. -Manómetro de diafragma anidado.	-Registadores e indicadores de presión.	-Indicador electrónico de presión diferencial (4)
	FLUJO Q	-Placas de orificio. -Toberas de flujo. -Tubo de Venturi.	-Medidor de flujo tipo turbina. -Rotámetro de tubo ahusado.	-Medidor del tipo magnético(5) -Medidor del tipo ultrasónico (6) -Medidor tipo Annubar (7).

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
JUGO	TEMPERATURA T	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Termómetro de vidrio con mercurio interno del tipo industrial.</li> <li>-Termómetro bimetálico del tipo industrial.</li> <li>-Termopar.</li> <li>-Termómetro de resistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Equipos electrónicos, -indicadores y/o registradores de temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Calcomanías (1)</li> <li>-Detector de temperatura por resistencia con indicador electrónico LCD (2)</li> </ul>
	PRESION P	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manómetro del tipo Bourdon.</li> <li>-Columna de vidrio llena de mercurio.</li> <li>-Manómetro de fuelles simples.</li> <li>-Manómetro de diafragma anidado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Registros e indicadores de presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Indicador electrónico de presión diferencial (4)</li> </ul>
	FLUJO Q	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Placas de orificio.</li> <li>-Toberas de flujo.</li> <li>-Tubo de Venturi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Medidor de flujo tipo turbina.</li> <li>-Rotámetro de tubo ahusado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Medidor del tipo magnético (5)</li> <li>-Medidor ultrasónico de flujo (6).</li> <li>-Medidor Annubar (8).</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Termómetro de resistencia.</li> <li>-Termopar.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Calcomanías (1)</li> <li>-Medidor de temperatura computarizado (10)</li> </ul>

CORRIENTES	VARIABLES	TRADICIONAL	MODERNO	AVANZADO
RADIACION	TEMPERATURA T			-Termómetro infrarrojo con detector fotográfico (11)  -Detector de temperatura por termopar con indicador electrónico LCD (3).
CONDENSADO	CONCENTRACION DE SÓLIDOS $C_s$	-Tubos de ensayo de 150x20mm, pirex, pipetas de 5 ml, reactivos: ácido sulfúrico fenol, condensado con sacarosa; (descrito en 4.2.5).		-Detector de arrastres de sólidos en condensado del tipo electrónico (9)
	TEMPERATURA T	Idem	a	jugo
	PRESTION P	Idem	a	jugo

4.2.3.3.1 - CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS DISPOSITIVOS  
AVANZADOS DE MEDICIÓN Y SU CAMPO DE APLICACIÓN  
EN LA INDUSTRIA.

(1) Calcomanías registradoras de temperatura.

MARCA: WAHL

MODELO: # 240

RANGO DE TEMPERATURA: 48-60-71-82°C 93-104-115-126°C  
65-71-76-82°C 93-121-148-176°C  
65-93-121-148 132-137-143-148°C

EXACTITUD:  $\pm 1\%$

TAMAÑO: 20 x 45 mm

ESPESOR: 0.3 mm

METODO: Cada placa contiene una o varias sustancias sensibles a la temperatura perfectamente selladas, las cuales cambian su estructura química a una temperatura conocida de antemano. Conforme cada círculo gris se expone a una temperatura superior a su valor calibrado se vuelve negra irreversiblemente en menos de 1 seg. Las placas soportan ser expuestas a disolventes, combustibles, grasas, aceites, agua y vapor.

CAMPO DE APLICACION:

-Permite su instalación en lugares donde no sería práctico colocar otro tipo de registrador.

Son de gran utilidad para indicar temperaturas en equipos y tuberías.

(2) Detector de temperatura por resistencia con indicador electrónico LCD.

MARCA: WAHL PLATINUM RTD

MODELO: LCD 350X

RANGO DE TEMPERATURA: -100°C a 550°C

RESOLUCION: 0.1° desde -100°C a 200°C

1° desde -100°C a 500°C

TIPO DE SENSOR: 0.00385 ohm/ohm/°C Platinum DIN 43760

EXACTITUD: a 25°C:  $\pm 0.2^\circ\text{C} \pm 1$  dígito

LINEARIZACION: Circuito integrado muy grande y técnica especial de linealización analógica, permite ajustarse muy cercanamente conforme a DIN 43760.

RAPIDEZ DE AJUSTE: 2.5 lecturas/segundo

REPETIBILIDAD: 0.2°C

TEMPERATURA AMBIENTE: -20°C a 50°C

DISPLAY DIGITAL: Cristal líquido alto contraste.

EFFECTOS DE VOLTAJE ALTO A/C SOBRE EL MEDIDOR;

No hay efecto sobre la pantalla hasta 220 volts.

ELIMINACION DE RUIDO: 40 dB a 60 Hz aumentando  
20 dB/década

CONSUMO DE POTENCIA: 6 VDC a 0.3 mamp.

BATERIA: Standar de 9 volts

SONDA: Intercambiable de 3" de ancho por 6" de longitud por 1.7" de espesor.

PESO: 198 gr.

- Sonda de gran alcance para superficie con resorte articulado de 460 mm de longitud, tipo 6 mm de diámetro. Mod. 121-18X
- Sonda para tomar la temperatura del aire con límite de temperatura de 230°C. MOD. 305X

METODO: Todos los metales puros aumentan su resistencia eléctrica con la temperatura. El resistor es un alambre enrollado donde se presenta el voltaje que es procesado y presentado en una pantalla LCD.

CAMPO DE APLICACION:

Medición de temperatura de:

- superficies
- superficies irregulares
- aire y gases
- inmersión en líquidos y semisólidos.
- termpozo.

(3) Detector de temperatura por termopar con indicador electrónico LCD.

MARCA: WAHL

MODELO: 1370 CXP tipo K con pantalla de cristal lf--

quido.

RANGO DE TEMPERATURA: 0 a 1370°C

RESOLUCION: 1°C

TIPO DE SENSOR: Termopar tipo K

EXACTITUD a 25°C:  $\pm$  0.3 % de lectura  $\pm$  1 dígito

RAPIDEZ DE AJUSTE: 3 lecturas/segundo

TEMPERATURA AMBIENTE: -17°C a 43°C

DISPLAY DIGITAL: Cristal líquido 0.50"

CONSUMO DE POTENCIA: 6 VDC a 1 mamp

BATERIA: Standar de 9 volts.

TAMAÑO: 3" de ancho por 6" de longitud por 1" de altura.

PESO: 300 gr.

SONDA: De largo alcance de 620 mm de longitud. Modelo TC 829-24 con terminal para tuberías. Modelo RTC 825 (límite de temperatura 316°C) y -- terminal para medición de temperatura del aire MOD. TC 805.

METODO: Circuito eléctrico formado por dos materiales diferentes en forma de alambres, cuando las dos juntas tienen diferente temperatura existe un potencial entre las terminales del circuito, dicha señal es procesada y presentada en una pantalla de cristal líquido.

## CAMPO DE APLICACION:

Medición de temperatura de:

- superficies
- superficies irregulares
- aire y gases
- inmersión en líquidos y semisólidos.
- termopozo.

(4) Indicador electrónico de presión diferencial.

MARCA: PENNVALT

MODELO: 66-200

RANGO: 0-100 PSI presión diferencial

EXACTITUD: 0.05%

DISPLAY DIGITAL: tipo LED

CAPACIDAD DE SOBREPRESION: 400%

CIRCUITO DE ESTADO SOLIDO.

CONSUMO DE POTENCIA: 0-2 volts D.C. o 4-20 mA.

METODO: Detecta presión mediante dispositivos electrónicos.

CAMPO DE APLICACION:

En la industria en general.

(5) Medidor de flujo del tipo magnético.

MARCA: FISHER PORTER



MODELO: MAG X 10D1430

EXACTITUD:  $\pm 1\%$

RANGO: 0-2600 GPM

REPETIBILIDAD:  $\pm 0.25$

PRESION DE OPERACION: 300 PSI

CONEXION: Tubería de 10" de diámetro para jugo mezclado de caña.

CONSUMO DE POTENCIA: 110 WATTS a 120 VAC

TEMPERATURA DE OPERACION: 148°C

MATERIAL ZONA DE MEDICION: Recubrimiento interior de teflón.

ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE

LIMPIEZA DE ELECTRODOS: Tipo ultrasónico (con generador de ultrasonidos)

METODO: El flujo de un fluido conductor a través de un campo magnético representa un voltaje inducido. Los electrodos detectan el voltaje inducido el cual puede considerarse como una indicación directa del gasto.

CAMPO DE APLICACION:

En general todo tipo de fluido que tenga una conductividad mayor o igual a la conductividad del agua, ya que las mediciones de este instrumento no dependen de las pro

propiedades tales como viscosidad, densidad -  
de los fluidos.

(6) Medidor de flujo tipo ultrasónico.

MARCA: PANAMETRICS

MODELO: 6000

EXACTITUD:  $\pm 1\%$

RANGO: 0.1 a 30 pies/seg (0.03 a 10 m/seg)  
0-2600 GPM

RANGEABILIDAD: 300:1

REPETIBILIDAD:  $\pm 0.2\%$

CONEXION: Tubería de 10" de diámetro.

SUMINISTRO DE POTENCIA: 120 VAC/60 Hz.

CONSUMO DE POTENCIA: 40 WATTS

TEMPERATURA DE OPERACION:  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $55^{\circ}\text{C}$

RANGO DE PULSOS: 100 Hz por pie/seg

PRESION DE OPERACION: 1000 PSIG

DIMENSIONES: 14" x 14" x 6"

PESO: 14Kg máximo

METODO: El tiempo de tránsito de las ondas de sonido de alta frecuencia son directamente proporcionales al gasto y depende de la densidad, viscosidad y número de Reynolds del fluido a manejar. El viaje de las ondas ultrasónicas es realizado entre el receptor y el emisor.

## CAMPO DE APLICACION:

En la industria en general.

(7) Medidor de flujo del tipo Annubar para vapor.

MARCA: DIETERICH STANDARD ANNUBAR.

MODELO: FSM -75 - 30 sch80 - HL

RANGO: 0-65,000 lb/hr

EXACTITUD:  $\pm 1\%$ REPETIBILIDAD:  $\pm 0.1\%$ 

## CONDICIONES DE FLUJO:

Vapor saturado

Línea de tubería 30" de diámetro SCH. 80

Viscosidad absoluta de 0.0145 cps

Máxima temperatura de 260°F

Máxima presión de 21 PSIG

## PARAMETROS DE FLUJO:

		Flujo mínimo	Flujo nominal	Flujo máximo
temperatura	°F	260	244.4	222.8
presión	PSIG	21	12.3	3.3
masa	lb/hr	37555	50189	60263

CONEXION A INSTRUMENTO: 1/2" NPT (macho)

INDICADOR: TIPO ANALOGICO

VALVULA PRINCIPAL: Tipo globo (acero forjado)

ACOPLAMIENTO A SOLDAR: 1 1/4" NPT CS

MODO DE OPERACION: Idem a Annubar para fluidos.

## CAMPO DE APLICACION:

Idem a Annubar para flujos.

(8) Medidor de flujo del tipo Annubar para jugo.

MARCA: DIETERICH STANDARD ANNUBAR.

MODELO: FTM - 75 - 10" sch. 40 - C21 - Y - 14

RANGO: 0-5788 GPM

EXACTITUD:  $\pm 1\%$ REPETIBILIDAD:  $\pm 0.1\%$ 

TEMPERATURA DE OPERACION: 225°F

LIQUIDO: Jugo mezclado de caña.

GRAVEDAD ESPECIFICA: 1.15

CONEXION: Tubería de 10.02" I.D.

VISCOSIDAD ABSOLUTA: 2.3 cps

MAXIMA TEMPERATURA DE DISEÑO: 225°F

MAXIMA PRESION DE DISEÑO: 250 PSI

## PARAMETROS DE FLUJO:

	Flujo mínimo	Flujo normal	Flujo máximo
°F	186.8	202.4	218
PSIG	200	225	250
GPM	2500	2525	2550
lb/hr	1,265.780	1270058	1274336

SENSOR: Tipo 75 - coeficiente de flujo 0,657

CONEXION: De instrumentos con las válvulas de 1/2" NPT

VALVULAS: (C21) a 5000 PSI y 450°F de temperatura máxima. (V-14) de acero inoxidable, conexión 1 1/4" NPT (hembra), rango 1500 PSI y 300°F.

INDICADOR: Tipo analógico.

#### MODO DE OPERACION:

El elemento anubar es un dispositivo cuyo funcionamiento se basa en el teorema de Bernoulli, el elemento se compone de dos sondas insertadas dentro de la línea. La primera sonda se encuentra de cara al flujo y su función es recibir la presión de impacto generada por la velocidad del fluido, la segunda sonda está localizada detrás de la primera y orientada en contra sentido al flujo, su función es transmitir la presión estática. La primera sonda tiene cuatro puertos, cada uno representa un segmento anubar de la línea. En el interior de esta sonda hay un elemento igualador que se encarga de proporcionar el promedio de las cuatro presiones percibidas.

#### CAMPO DE APLICACION:

Sirve para la medición de flujos de fluidos como el agua, aire, líquidos corrosivos y contaminantes; en la medición de flujo de fluidos a alta temperatura y pre

si6n. En la industria generadora de potencia (incluyendo las plantas nucleares), refinerias, transmisi6n de gases, petroquimica, en control de procesos (entradas, salidas y balances], tratamiento de agua, -- control de la contaminaci6n.

(9) Sistema detector electr6nico de arrastres.

MARCA: SOLER VALLS Y CIA. S.R.L.

MODELO: 11-78002 KT6

CONSTA DE:

-Un sensor con electrodo a distancia modelo KT6 que se inserta directamente en la tuberfa de condensado. Existe otra variante - con electrodo a distancia modelo KT8 con drenaje de condensado para usarse en aquellos casos donde la tuberfa se mantiene -- parcialmente con condensado,

-Detector electr6nico con circuito montado en una plaqueta enchufable lo que permite que el servicio se realice sin dificultad alguna.

-V6lvula de tres vias de 4" y 6", presi6n de aire en el actuador 4 a 8 Kg/cm<sup>2</sup>.

METODO:

El sensor informa al detector ante la presencia de materiales azucarados. El detector procesa electr6nicamente dicha informaci6n y comanda la v6lvula que desvia el condensado contaminado. Cuando cesa -

la contaminación, el detector envía una nueva señal para que la válvula restablezca la circulación de condensado a las calderas.

(10) Medidor de temperatura computarizado.

MARCA: F.L. SMIDTH

MODELO: SISTEMA FLS - SDR  
DETECTOR AQA CEMSCANNER

RANGO DE TEMPERATURA: 100 °C - 1000 °C

EXACTITUD:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

METODO: Las temperaturas medidas por el detector -- son leídas por la computadora; ésta ve a la superficie como si estuviese desdoblada y plana, y conserva una lectura de temperatura en su memoria para cada cuadro, que representa un cuadro correspondiente de la superficie del generador de vapor o el sistema de intercambio de calor; esta disposición de las mediciones de temperatura se -- puede representar en la pantalla como una -- imagen real en el tiempo de la distribución de temperatura de pared de los sistemas antes mencionados. Una pantalla presenta los resultados en forma gráfica. Se emplea un impresor para presentar gráficas de rutina o las copias que se desean.

**MODO DE OPERACION:**

El detector se coloca a una determinada distancia en función de la longitud de la superficie a analizar. Este registra la radiación infrarroja emitida a lo largo de la superficie.

**CAMPO DE APLICACION:**

Medición de temperatura de:

- Coraza de intercambiador de calor
- Superficie de generador de vapor.
- Control de refractario en horno.

Las condiciones de la capa refractora se expresa mediante características tales como desgaste, fracturas, ladrillos faltantes, torsión, depósitos, etc.; una medida física directa de estas características es imposible mientras el horno está en operación; sin embargo, debido a que el recubrimiento representa una resistencia a la transmisión de calor, la medición de temperatura de la superficie es un método excelente para revelar las condiciones del recubrimiento.



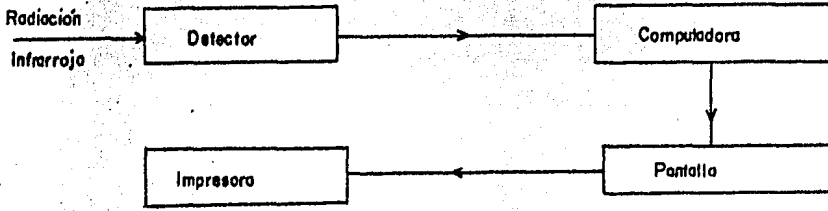
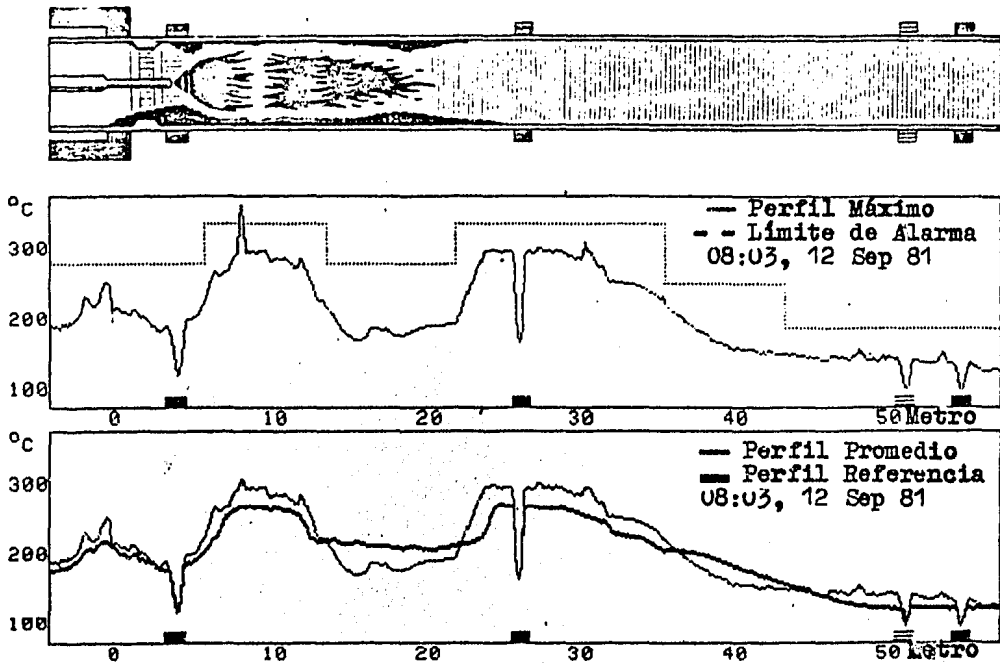


Figura 9 Diagrama de control del sistema FLS - SDR



Dibujo 21 Diagramas proyectados en la pantalla, mostrando los perfiles de temperatura de los pilotos de un horno.

(11) Termómetro infrarrojo con detector fotográfico.

MARCA: WAHL

MODELO: DETECTOR PS-1000  
CAMARA POLAROID SX-70

RANGO DE TEMPERATURA: 10 - 1000 °C

EXACTITUD:  $\pm 6$  °C

SENSIBILIDAD: 0.5 a 25 °C

METODO: Estos instrumentos son pirómetros ópticos - de radiación, en los que el elemento sensible está constituido por una célula que, al recibir ciertas radiaciones, genera una corriente eléctrica cuya medida sirve para conocer la temperatura del cuerpo que se observa. El detector barre, compara, mide y registra fotográficamente señales de temperatura verdadera, (señales superimpuestas en el blanco observado).

MODO DE OPERACION:

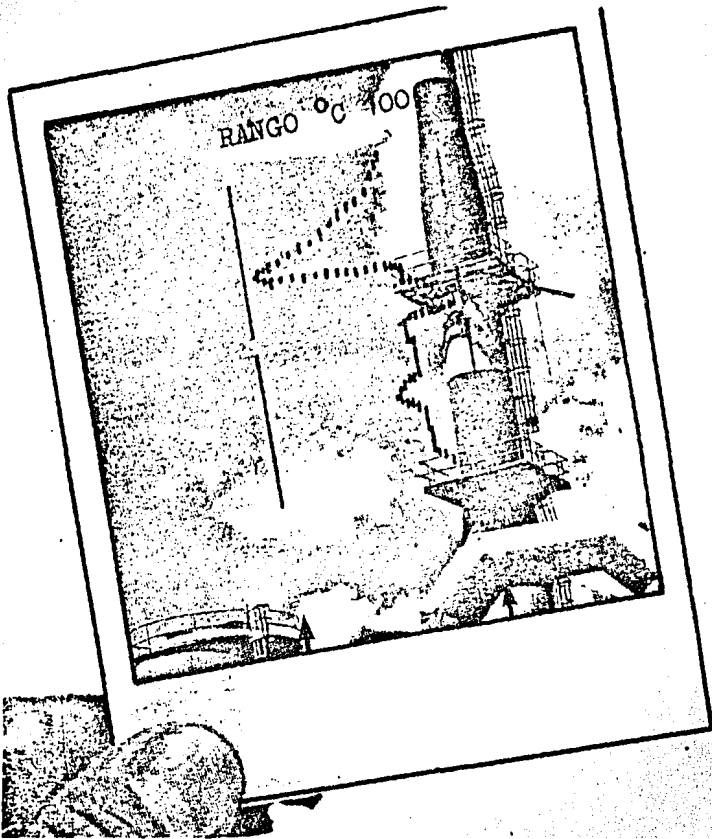
- 1) Detección.- Apúntese a las áreas del --- blanco y véales claramente - junto con los perfiles de -- temperatura superimpuestos.
- 2) Registro.- Conéctese a la cámara Pola-- roid SX-70 que se suministra y vea y registre los perfi-- les térmicos en fotos instan-- táneas a color.

3) Medición. Las cubiertas calibradas para las fotos a colores que se suministran, dan una medición directa de la temperatura e identifica las áreas calientes.

#### CAMPO DE APLICACION

Este termómetro portátil identifica rápidamente y mide los puntos calientes desde una distancia segura y proporciona perfiles de temperatura que pueden usarse para conservación de energía, construcción de plantas, mantenimiento de plantas, potencia eléctrica y análisis de procesos.

Otro uso que se le puede dar, es como un indicador de eficiencia de operación del generador de vapor y el sistema de intercambio de calor, comparando un régimen de temperatura de referencia con la situación real del equipo en operación.



Dibujo 22 Vista y registro del detector térmico. Detección lineal del blanco observado. Se define arriba la línea de medición térmica y el rango con la temperatura de base. La traza mostrada, define el límite superior del rango de temperatura.

4.2.4)- ANALISIS DE OPERACION. RELACIONES CAUSA/EFECTO.

CORRIENTE DE FLUIDO QUE CIRCULA POR EL INTERIOR DE LOS --  
TUBOS.

- Si la temperatura o salida del fluido es mayor o igual al valor prescrito, el equipo está operando eficientemente.

- Si la temperatura de salida del fluido es menor al valor prescrito, es debido a los siguientes problemas:

- 1.- Incrustación de tubos debido a impurezas solubles y sólidos en suspensión; causando que el coeficiente de transmisión de calor disminuya, es decir, retardo de transferencia de calor, - esto provocaría un sobrecalentamiento local, - pudiendo llegar a la fractura.
- 2.- Pérdida de calor a la atmósfera debido a la radiación y convección libre; afectándose de esta manera la transmisión de calor entre las -- dos corrientes de fluidos.
- 3.- Corto-circuito entre las dos corrientes de fluidos debido a una rotura en los tubos o un aflojamiento de estos en la unión con el espejo, -- produciéndose un deficiente intercambio de calor.
- 4.- Mala operación de la trampa de vapor; debido a los siguientes problemas:

- a) Trampa fría - no hay descarga de condensados.
- b) Trampa caliente - no hay descarga de condensados.
- c) Trampa caliente - descarga de condensado muy pequeña.
- d) La trampa purga vapor.
- e) La trampa descarga continuamente.
- f) La trampa descarga intermitentemente - drenaje deficiente.
- g) La capacidad de la trampa baja repentinamente.
- h) El condensado no sale del sistema.
- i) El vapor no proporciona suficiente calor.
- k) Retroflujo en la línea de retorno.

#### CORRIENTE VAPOR - CONDENSADO

- Si el flujo de condensado tiene una temperatura o peso aceptable, significa que el equipo está operando normalmente.

- Si el flujo de condensado se encuentra por debajo del valor deseado, se debe a los siguientes problemas:

- 1.- Incrustación de tubos debido a impurezas solubles y sólidos en el fluido que circula dentro

de los tubos; esto implica que el coeficiente de transmisión descienda provocando que haya disminución de condensado.

2.- Idem al inciso anterior (2)

3.- Idem al inciso anterior (3)

4.- Idem al inciso anterior (4)

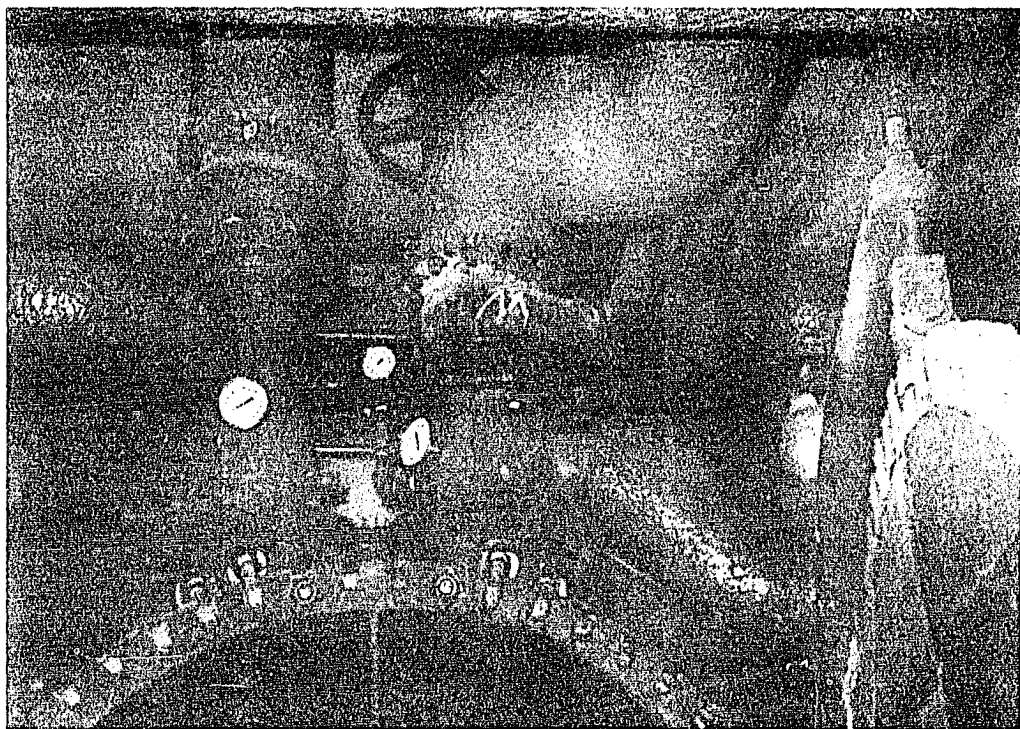


Figura 8 Nos muestra la carencia de aislamiento térmico en bridas, provocando pérdidas termoenergéticas.



#### 4.2.5)- METODOLOGIA DE EVALUACION.

##### 4.2.5.1) - PERDIDAS DE ENERGIA POR RADIACION Y CONVECCION LIBRE.

Las pérdidas de energía por radiación y convección libre se pueden disminuir:

- 1) cubriendo el equipo con un aislante adecuado.
- 2) estableciéndose un análisis cualitativo y cuantitativo para determinar:
  - a) Pérdidas para determinar:
    - superficie de un intercambiador de calor horizontal sin aislamiento.

El cuerpo del intercambiador tiene forma cilíndrica y está circundado por un flujo libre de aire. El diámetro exterior del cuerpo del intercambiador es  $D_s$ , la temperatura de superficie es  $t_c$  y la temperatura del aire en el local,  $t_a$ . El flujo calorífico sobre la superficie externa del intercambiador de calor es  $q = \alpha A (t_c - t_a)$ .

Para los valores dados de las temperaturas en la superficie de la pared y del ambiente lejos de la pared, el problema se reduce a la determinación del coeficiente de traspaso de calor,

La dependencia para el cálculo del coeficiente medio de traspaso de calor durante el movimiento -

libre del fluido tiene el aspecto:

$$N_{uf} = C (G_r P_r)_a^n \left( \frac{P_{ra}}{P_{rc}} \right)^{0.25}$$

donde las constantes  $C$  y  $n$  dependen del régimen del movimiento libre y de las condiciones del contorno de la superficie.

Estas son funciones de  $G_r P_r$ . Donde ---  
 $(G_r P_r)_a$  está comprendido entre  $1 \times 10^3 - 1 \times 10^9$ .

$C = 0.50$  y  $n = 0.25$  en el tubo horizontal. Los subíndices "a" y "c" significan que las propiedades físicas del fluido se eligen respectivamente para la temperatura del fluido  $t_a$ , lejos de la superficie de intercambio de calor y para la temperatura  $t_c$  de la pared.

Durante el movimiento del aire a través del cilindro horizontal el diámetro exterior de éste se toma como dimensión determinante.

A la temperatura  $t_a$ , del aire se evalúan:

- $\nu_a$  viscosidad del aire
- $\lambda_a$  conductividad del aire
- $\beta_a$  coeficiente de expansión
- $P_{ra}$  número de Prandtl

Calculamos el valor de  $(G_r P_r)_a$ :

$$(G_r P_r)_a = \frac{g \beta_a \Delta t D_s^3 P_{ra}}{\nu_a^2}$$

El número de Nusselt es:

$$N_{ua} = 0.50 \left( \frac{g \beta_a \Delta t D_s^3 P_{ra}}{\nu_a^2} \right)^{0.25}$$

de donde  $\alpha = N_{ua} \frac{\lambda_a}{D_s}$

Las pérdidas por radiación se evalúan mediante la fórmula:

$$q = \sigma \epsilon \pi D_s (t_c^4 - t_a^4)$$

donde:

- $\sigma$  : constante de Boltzmann  
 $\epsilon$  : emisividad del material

- b) Pérdidas de calor de un intercambiador de calor que se ha cubierto de una capa de aislamiento.  
 - Pérdida de calor por unidad de longitud. (11)

Suponiendo una temperatura  $t_1$  (temperatura de la pared del aislamiento), se calcula  $h_c$  (coeficiente de convección libre) de acuerdo al procedimiento descrito en el artículo anterior.

Luego se procede a calcular las pérdidas por unidad de longitud de acuerdo a:

$$q = \frac{\pi(t_1 - t_a)}{\frac{2.3}{2K_c} \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_c D_1}} + \sigma \epsilon \pi D_1 (t_1^4 - t_a^4)$$

Puesto que se cumple que  $\Delta t/R = \Delta t_c/R_c$ ;

con el valor de la ecuación anterior se reemplaza en la expresión:

$$\frac{\pi (t_s - t_a)}{2.3 \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_c D_1}} = \frac{2\pi K_c (t_s - t_1)}{2.3 \log \frac{D_1}{D_s}}$$

donde:

$D_1$  : diámetro exterior de la coraza del intercambiador

$D_s$  : diámetro exterior del intercambiador con aislamiento.

$K_c$  : conductividad térmica del aislamiento.

La temperatura  $t_1$  viene a ser incognita - en esta última ecuación; despejando  $t_1$ , comprobamos si se aproxima al valor supuesto anteriormente, en caso de ser aproximadamente iguales tales temperaturas, el valor de las pérdidas de calor serán la calculada, en caso contrario se procedera a suponer un nuevo valor de temperatura de pared de aislamiento  $t_1$  y repetir los cálculos anteriores.

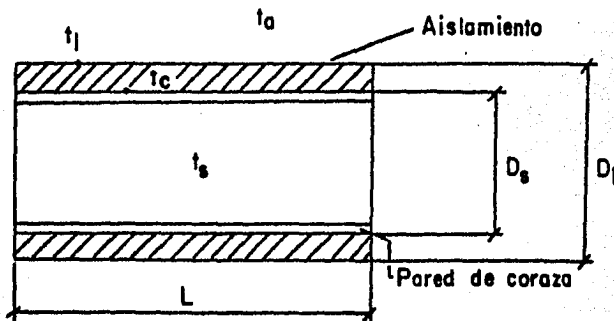


Figura (10)

#### 4.2.5.2] - CORTO-CIRCUITO ENTRE LAS DOS CORRIENTES DE FLUIDOS.

El problema de fugas de fluidos que circulan por dentro de los tubos, se puede detectar tomándose muestras de condensado y analizando su conductividad y/o concentración, se podrá llevar a cabo estas pruebas cuando se presenta la condición de descenso de temperatura - del fluido que circula a través de los tubos.

Debido a los avances recientes en la aplicación de los instrumentos medidores de conductividad, - se ha encontrado que son útiles para determinar la concentración de azúcar (se usan como detectores continuos de - azúcar). Sin embargo aún requieren de métodos cuantitativos de análisis.

El problema de medir pequeñas cantidades - de azúcar en solución ha recibido una gran atención a través del tiempo y se han propuesto muchos métodos para --- ello tanto cualitativos como cuantitativos. El National Bureau of Standards de U.S.A. ha hecho recientemente una - revisión de estos métodos. En esta etapa de la investigación el método que parece más satisfactorio para análisis rutinarios y que además es el menos susceptible a las interferencias es el método del ácido sulfúrico-fenol.

Este método tiene una sensibilidad mayor.

Muestreo:

Un aspecto que se debe considerar en la toma de muestras para el análisis de condensado es la pérdi-

da de sacarosa debido a la actividad de los microorganismos, puesto que pequeñas cantidades de azúcar pueden ser destruidas rápidamente por este medio.

Se debe tener cuidado de asegurarse que -- los recipientes que se usan para tomar muestras esten limpios y secos. Si se toman muestras múltiples durante períodos largos de tiempo se debe añadir un inhibidor adecuado, por ejemplo: tres gotas de solución de acetato de fenil-mercurio por cada litro de muestra.

#### Método del ácido sulfúrico fenol.

Este método es específico para carbohidratos y se puede aplicar directamente a la mayoría de los efluentes de los ingenios y a las muestras de condensado. Sin embargo una excepción a esto ocurre cuando hay cantidades relativamente grandes de compuestos orgánicos insolubles tales como algas. Estas deben ser eliminadas mediante filtración a través de un medio de sílice (o alguno adecuado) antes de la determinación.

#### Aparatos Especiales:

- °Tubos de ensayo Pyrex de aproximadamente - 150 x 20 mm.
- °Pipetas de flujo rápida de 5 ml automáticas (de preferencia).

#### Preparación de la gráfica patrón:

Pese 0.100 gr de sacarosa A.D. (dextrogena) y páselos a un matraz volumétrico limpio de 1 litro disuelva hasta el volumen. Esta so

lución contiene 100 p.p.m. de sacarosa.

Prepare, en matraces volumétricos de 100 ml, soluciones de los valores siguientes, mediante la dilución adecuada: 50 p.p.m., 25 p.p.m., 15 p.p.m., 10 p.p.m., 5 p.p.m.

Después pipetee exactamente alícuotas de 1 ml de cada uno en los tubos de ensayo limpios y secos. Agregue 1 ml del reactivo, de fenol directamente a cada tubo. El método de adición del ácido debe ser uniforme.

El procedimiento adecuado es colocar la pipeta con el ácido en posición vertical con la punta inferior dos pulgadas por encima de la superficie del líquido. Deje que el ácido caiga en el centro de la superficie del líquido. 'Peligro' -Tenga cuidado de que la solución no brinque afuera del tubo. Inmediatamente después de la adición del ácido agite suavemente el tubo para asegurar una mezcla completa.

Deje que el tubo y su contenido se enfrien al aire hasta la temperatura ambiente. Determine la densidad óptica de cada solución de prueba contra la solución 'blanco' en una celda de 1 mm o 490 mm en un espectrofotómetro y prepare una gráfica patrón a partir de estos resultados.

Procedimiento: Tome 1 ml de la solución de la muestra, agregue 1 ml del reactivo de fenol y luego añada 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y proceda exactamente en la manera descrita más arriba. Lea la densidad a --

490 mm contra el blanco y determine la concentración de sacarosa de la gráfica patrón.



#### 4.2.5.3.] - DETERMINACION DE INCRUSTACION POR DENTRO DE - LOS TUBOS. [12]

Como se estableció anteriormente, la incrus-  
tación por dentro de los tubos disminuye el coeficiente -  
de transmisión de calor.

Una forma de determinar el tiempo de opera-  
ción recomendable del calentador de jugo, antes que la --  
incrustación afecte severamente la transmisión de calor,  
es establecer una gráfica patrón.

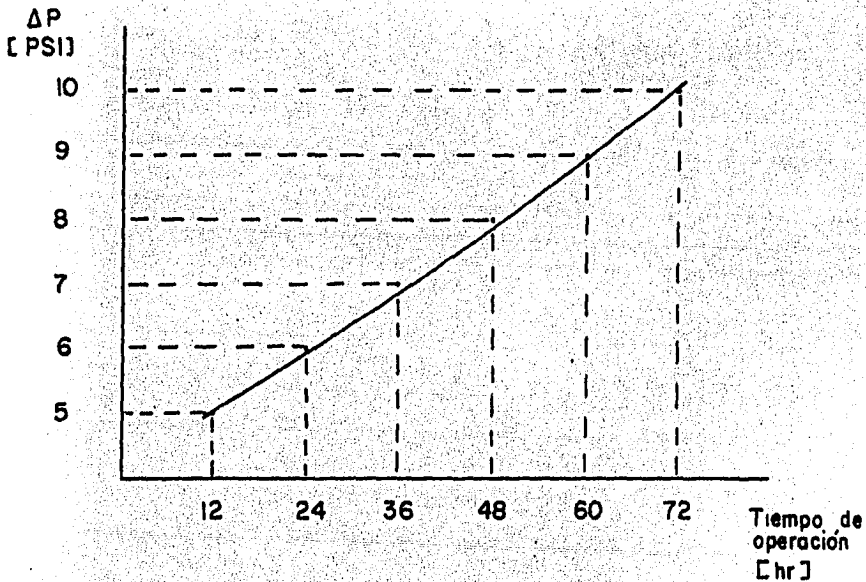
Dicha gráfica representa la caída de pre--  
sión en función del tiempo de operación del calentador. -  
La caída de presión va desde un valor de la presión dife-  
rencial con tubos limpios, hasta una presión diferencial  
límite que represente el sacar fuera de operación al ca-  
lentador, ya que, trabajar con presiones diferenciales ma-  
yores que la permitida, ocasionará ineficiencia en el e--  
quipo, con una mayor demanda de energía calorífica al mis-  
mo.

Para asegurar caídas de presión que rela-  
cionen directamente con las variaciones de flujo debido a  
la disminución del área transversal de los tubos, produci-  
do por la incrustación; y que estas no dependen de las --  
fluctuaciones externas de flujo, se debe de mantener cons-  
tante el flujo en la entrada al calentador.

Una manera de hacerlo es, por medio de una  
válvula reguladora de flujo (válvula de globo, válvula ma-  
cho, válvula de mariposa, etc.) ajustándose al valor de--  
seado, el cual se puede ver en el indicador del medidor -

de flujo instalado en la línea. Otra forma de controlar el flujo es regulando la velocidad de la bomba.

La gráfica a establecer sería de la forma que se ve en la figura:



Gráfica 4

## 4.2.5.4] - SOLUCION DE PROBLEMAS EN TRAMPAS DE VAPOR. (13)

## A.- TRAMPA FRIA - NO HAY DESCARGA.

Si la trampa está fría y al abrir la válvula de prueba no hay descarga de condensados:

- 1) La presión es muy alta debido a que:
  - a) La trampa piloto tiene un mecanismo para presión menor, consúltese con el fabricante de la trampa, él puede suministrar los repuestos necesarios para operar a mayor presión o dar las explicaciones pertinentes para reajustar la trampa.
  - b) La presión del equipo se aumentó por causa de alguna falla en la estación reductora de presión, repárese la falla.
  - c) Hay un vacío alto en la descarga que aumentó el diferencial de presión arriba del permisible por el mecanismo de la trampa piloto.
- 2) No llega el condensado a la trampa debido a:
  - a) Alguna válvula pegada o trabada en la línea de descarga a la trampa, revísese y repárese.
  - b) Obstrucción en la tubería (acumulación de sólidos), límpiese la tubería.

- 3) La ventila de la cubeta de la trampa piloto tapada por la suciedad en los condensados. Aumentar ligeramente el diámetro de la ventila.
- 4) Mecanismo defectuoso. Reparar o reemplazar.
- 5) La derivación en puente tiene fuga o la válvula está abierta. Repárese o ciérrase.

#### B.- TRAMPA CALIENTE - NO HAY DESCARGA

Si la trampa está caliente y al abrir la válvula no hay descarga de condensados:

- 1) No hay formación de condensados debido al sobrecalentamiento.
- 2) El condensado escapa por la válvula de by-pass, ciérrase la válvula.

#### C.- TRAMPA CALIENTE - DESCARGA MUY PEQUEÑA.

Esto indica que la trampa piloto si está abriendo pero que el cuerpo principal se mantiene cerrado. Esto puede ser causado por:

- 1) Vástago fuera de alineamiento, reparar.
- 2) Suciedad en la cámara del pistón, limpiar.
- 3) Desgaste excesivo entre el pistón y la camisa, reparar o reemplazar.

## D.- FUGAS DE VAPOR.

Si la trampa escapa vapor continuamente, la causa puede ser:

- 1) La trampa piloto no cierra debido a algún pedazo de soldadura o de incrustación atorado entre la válvula y el asiento. Repárese.
- 2) Asiento de trampa piloto desgastado, reemplazar.
- 3) La trampa piloto está descebada. Cierre la válvula; si la trampa empieza a operar correctamente el mecanismo está bien. Si la fuga vuelve a producirse, entonces hay algo malo en el mecanismo piloto y la trampa debe abrirse para inspección y reparación.
- 4) La derivación en puente está abierta o no cierra herméticamente, ciérrase o repárese.
- 5) Trampa de cubeta invertida demasiado grande y levanta el cierre; úsese un orificio de asiento más chico o colóquese una trampa de menor tamaño.

## E.- DESCARGA CONTINUA.

Si la trampa descarga continuamente:

- 1) Posiblemente la trampa sea demasiado pequeña para la capacidad requerida. Se requiere una ---

trampa más grande, o instalar una trampa adicional,

- 2) Condiciones anormales. Posiblemente haya arrastre de agua de calderas en la línea. Purgar tuberías de vapor.

#### F.- DESCARGA INTERMITENTE - DRENAJE DEFICIENTE.

Si la trampa descarga intermitente pero el drenaje de condensados no se efectúa con rapidez:

- 1) Es posible que se esté formando vapor de 'flash' en la línea, antes de la trampa.
- 2) Una mala disposición de la tubería puede impedir que el condensado llegue a la trampa.

#### G.- LA CAPACIDAD DE LA TRAMPA BAJA REPENTINAMENTE.

- 1) La presión de entrada demasiado baja; elévese la presión al régimen de la trampa, colóquese una trampa más grande, cambiense las partes accionadas por la presión o reajústese el mecanismo de la trampa.
- 2) La contrapresión es muy alta; revísese si en la tubería de retorno hay taponamiento; las trampas inyectan vapor en el retorno; ábrase la válvula del puente de derivación o destápe se el respiradero de la línea de retorno.

- 3) La contrapresión es demasiado baja; elévese.

#### H.- EL CONDENSADO NO SALE DEL SISTEMA.

- 1) Hay aire en la tubería; colóquese un tubo de ventilación o instálase una trampa con más capacidad de aire, para sacarlo del sistema.
- 2) Presión del vapor baja; elévese a su valor correcto.
- 3) El condensado hace corto-circuitos; utilícese una trampa individual para cada línea.

#### I.- EL VAPOR NO PROPORCIONA SUFICIENTE CALOR.

- 1) El asiento de la válvula en la trampa está rayado u ovalado; esmerílese el asiento o reemplácese el cuerpo de la trampa, colocando uno nuevo.
- 2) Muchos golpes de ariete en el sistema; revísese el tamaño de las trampas. Las trampas subdimensionadas no pueden manejar la totalidad del condensado que se forma durante el período de arranque, dando por resultado el golpeteo en la tubería. Instálase trampas más grandes, en caso de que las líneas de escurrimiento estén limpias y libres de escamas. Las trampas deben dimensionarse para el período de arranque y calentamiento y no para el servicio estando calientes las líneas principales.

## J.- RETROFLUJO EN LA LINEA DE RETORNO.

- 1) La trampa situada en la parte baja de la línea - maestra de retorno, no tiene los accesorios adecuados; instálese una válvula de retención, un sello de agua o ambas, lo que depende de las recomendaciones de la compañía manufacturera de las trampas.
- 2) Trampas de alta presión descargan en un retorno de baja presión; la rápida expansión del vapor - puede causar alta retropresión. Cámbiese la tubería para evitar retropresión al excederse la capacidad de la trampa.



## 4.2.5.5) - PROGRAMA Y CALCULO NUMERICO.

Muchas operaciones de intercambio de calor - de plantas industriales, no pueden ser analizadas exactamente con el método de la diferencia de temperatura logarítmica media para el cálculo de la transmisión de calor. Para remediar esta situación, se propone el método de la sumatoria sucesiva.

El método clásico para calcular el coeficiente global de transmisión de calor en un intercambiador, - es integrar la ecuación diferencial que describe la transmisión de calor:

$$dq = U dA (T - t) \quad (1)$$

$$q = \frac{UA (\Delta T - \Delta t)}{\ln \frac{\Delta T}{\Delta t}} \quad (2)$$

$\bar{\Delta T}_{LM}$  aparece en esta integración, el cálculo es inmediato en casos de paso sencillo, con flujo concurrente o a -- contra-corriente. Las complicaciones surgen cuando se consideran los casos de pasos múltiples con múltiples tubos, condensadores o rehervidores, o los medios de enfriamiento a flujo cruzado (como en los enfriadores de aire). En tales casos se deben emplear algunos factores de corrección para ajustar esta a cada configuración particular de diseño. Los factores de corrección son empíricos y alejan al ingeniero de la ecuación (1), la que es la base matemática de la transmisión de calor.

### El método de la sumatoria sucesiva,

Mediante un cálculo programado se puede mejorar la ecuación (1) en elementos diferenciales y entonces, por medio de una sumatoria sucesiva, se puede obtener el valor numérico de la integral sin usar  $\Delta \bar{T}_{LM}$ .

El tiempo de cálculo depende del número de los elementos diferenciales y de los cálculos iterativos de ensayo y error y del éxito de las rutinas de convergencia.

La exactitud depende del número de los elementos diferenciales y de la temperatura que se use para representar cada elemento.

El uso de una temperatura promedio por elemento, en vez de las temperaturas de entrada o salida al elemento, mejora la exactitud, particularmente en flujo concurrente. No es difícil conseguir errores relativos del 1%.

### Predicción del funcionamiento.

La naturaleza predictiva del método es una herramienta importante. Los intercambiadores deben limpiarse periódicamente, pero ¿cuáles y cuando?; el método de la sumatoria sucesiva se puede usar para tomar esta decisión. Se calculan los coeficientes de transmisión de calor para cada intercambiador, usando los datos de la planta, y se comparan con el de diseño o el coeficiente limpio del equipo, se toma un rango de variación de este, para el cual es eficiente la transmisión de calor, al salirse de este intervalo, diremos que no se está llevando a cabo la transferencia con eficiencia y tendrá que ser parada la unidad y proceder a su limpieza.

Programa.

El listado de este, es para la versión HP 41, la estructura del programa se muestra con un ejemplo; el cálculo se inicia al oprimir "A". Para disminuir el tiempo de convergencia, almacene un número mayor que 1 en A.

## Ejemplo:

Cálculo del coeficiente de transmisión de calor (U), de un economizador de Central Termoeléctrica.

Los valores requeridos son:

- N - Elementos diferenciales
- A - Superficie de calefacción,  $m^2$
- $C_{pg}$  - Calor específico medio del gas,  $\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$
- $C_{pw}$  - Calor específico del agua,  $\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$
- $\dot{m}_g$  - Flujo másico de gas, Kg/hr
- $\dot{m}_w$  - Flujo másico de agua, Kg/hr
- $T_{ig}$  - Temperatura entrada gases,  $^\circ C$
- $T_{og}$  - Temperatura salida gases,  $^\circ C$
- $t_{iw}$  - Temperatura entrada agua,  $^\circ C$
- U - Coeficiente de transmisión de calor, (suposición inicial),  $Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$
- $T_{int}$  - Temperatura intermedia de gases, (media aritmética),  $^\circ C$

## Listado de memorias con sus datos;

N	STO 01	15
A	STO 02	12140 (m <sup>2</sup> )
C <sub>pg</sub>	STO 03	0.275 Kcal/Kg·°C
C <sub>pw</sub>	STO 04	1 Kcal/Kg·°C
$\dot{m}_g$	STO 05	802.2 10 <sup>3</sup> Kg/h
$\dot{m}_w$	STO 06	586.0 10 <sup>3</sup> Kg/h
T <sub>ig</sub>	STO 07	508 °C
T <sub>og</sub>	STO 08	316 °C
t <sub>iw</sub>	STO 09	230 °C
U	STO 11	35 Kcal/m <sup>2</sup> h °C
T <sub>int</sub>	STO 13	400 °C

Listado de Programa para la predicción del intercambio de calor.

01*LBL "HAB"	54 ST- 10
02 ENTER 1	55 RCL 17
03*LBL A	56 RCL 18
04 SF 01	57 +
05 GTO E	58 ST+ 19
06*LBL B	59 RCL 06
07 STO 15	60 /
08 CF 01	61 RCL 04
09 GTO E	62 /
10*LBL C	63 ST+ 16
11 STO 09	64 DSE 98
12*LBL E	65 GTO a
13 RCL 01	66 RCL 14
14 STO 98	67 RCL 07
15 RCL 13	68 -
16 STO 14	69 STO 12
17 STO 15	70 PES
18 RCL 09	71 :
19 STO 16	72 -
20 RCL 11	73 X>0?
21 RCL 02	74 GTO e
22 +	75 FS? 01
23 1	76 GTO c
24 /	77 RCL 15
25 RCL 01	78 TONE 1
26 /	79 STOP
27 STO 20	80*LBL d
28 0	81 RCL 15
29 STO 17	82 RCL 08
30 STO 18	83 -
31 STO 19	84 STO 12
32*LBL a	85 PES
33 RCL 14	86 1
34 RCL 16	87 -
35 -	88 X>0?
36 RCL 20	89 GTO c
37 +	90 RCL 11
38 STO 17	91 TONE 5
39 RCL 05	92 STOP
40 /	93*LBL c
41 RCL 03	94 RCL 12
42 /	95 RCL 08
43 ST+ 14	96 /
44 RCL 15	97 1
45 RCL 16	98 +
46 -	99 ST+ 11
47 RCL 20	100 GTO E
48 *	101*LBL e
49 STO 18	102 RCL 12
50 RCL 05	103 3
51 /	104 /
52 F.L. 03	105 ST- 13
53	106 GTO E
	107 END

El coeficiente de transmisión de calor, -- dió un valor de  $U = 29.4799 \text{ Kcal/m}^2\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ , según (AAA), en la práctica son posibles coeficientes entre 25 a 45, como suposición inicial se tomó la media que fué 35.

Se puede concluir que el valor arrojado de 29.4799 es aceptable, ya que se encuentra dentro del rango permisible de trabajo. El tiempo de cálculo para el programa, tal como se presenta es de 10 minutos.

## 5.0).- CONCLUSIONES.

Podemos inferir, que después de un análisis termodinámico que involucró principalmente: Generación - de Vapor e Intercambio de Calor, se pudieron establecer - algunas relaciones causa/efecto que repercuten en el comportamiento de los equipos y procesos, llegando a evaluar las y en algunos casos, proponiendo la metodología correctiva.

Debido a que en algunas partes este trabajo se basó en conceptos teóricos para facilidad de desarrollo o por la imposibilidad de obtener datos reales, algunas modificaciones y mejoras podrían observarse y desarrollarse solamente en la práctica; no obstante, estas metodologías sirven como una base para la obtención de nuevas y estudios posteriores.

Vemos positivamente, que este estudio nos acercó en una forma real y práctica, a la interacción de los diferentes equipos en un ingenio azucarero; nos abrió un panorama amplio y real de la problemática de las industrias básicas, además de familiarizarnos con la infinidad de instrumentos existentes en el mercado, su aplicación y rango de operación; sensibilizándonos acerca del gran apoyo que esta herramienta nos da para evaluar pérdidas.

Creemos que estas metodologías de evaluación, al ser sencillas y fáciles de aplicarlas, contribuirán en buena medida a la superación de los ingenios; estamos ciertos que con una buena aplicación y voluntad, éstas podrán ocupar un sitio importante, como así lo fueron, en la

economía de la nación.



B I B L I O G R A F I A

- (1) INDUSTRIAL WORLD EN ESPAÑOL  
ABRIL DE 1982.
- (2) CONSERVACION Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA  
DIVISION EDUCACION CONTINUA  
F.I. U.N.A.M.
- (3) P. Siklósi  
SUMMARY  
HEAT OF TECHNOLOGICAL DEPARTMENT  
BUDAPEST HUNGRIA
- (4) Padilla Capistran M.  
MANUAL PARA LA SELECCION E INSTALACION DE AISLAMIENTO TERMICO.  
Tesis 1975.
- (5) Reynolds/Perkins  
TERMODINAMICA  
Mc Graw - Hill
- (6) Severns  
PRODUCCION DE ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE Y GAS  
Reverte.
- (7) ENERGY CONSERVATION IN RAW SUGAR FACTORIES  
LOUISIANA STUDY 1977
- (8) Morse F.  
CENTRALES ELECTRICAS.

- (9) ESTUDIO TERMOENERGETICO EN FABRICA  
Ingenio Plan de Ayala S.A. 1982
- (10) E. Hugot  
HANDBOOK OF CANE SUGAR ENGINEERING  
Elsevier
- (11) Donald Q. Kern  
PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR  
C.E.C.S.A.
- (12) 3ra. FACTORY COMMISSION  
INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS  
XVIII CONGRESS CUBA 1983.
- (13) L.C. Morrow  
MANUAL DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.  
TOMO II  
C.E.C.S.A.
- (14) UTILIZACION DEL JUGO MEZCLADO COMO ELEMENTO DE CON-  
DENSACION EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.  
Tesis Fac. Ing. U.N.A.M. 1981.