



300612
29
24

UNIVERSIDAD LA SALLE

Escuela de Ingeniería
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**" OPTIMIZACION DEL USO DE LA
ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE
PROCESOS "**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:
**INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:
Esteban Augusto Ortíz Parga

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1987



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 está 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.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. ENERGETICOS	5
1.1 Tipos de energéticos	6
<<Recursos Energéticos no Renovables>>	
1.1.1 Carbón	9
1.1.2 Petróleo	10
1.1.3 Gas Natural	15
1.1.4 Esquistos y Arenas Bituminosas	16
1.1.5 Energía Nuclear	17
<<Recursos Energéticos Renovables>>	
1.1.6 Aprovechamiento Hidráulico	18
1.1.7 Energía Geotérmica	19
1.1.8 Energía Solar	21
1.1.9 Energía Eólica	22
1.2 Disponibilidad en México de Energéticos	23
1.2.1 Producción de Carbón	23
1.2.2 Producción de Petróleo	24
1.2.3 El Gas Natural y su Producción	26
1.2.4 La Energía Hidroeléctrica y su relación con la Termoeléctrica	26

1.2.5	La Energía Nuclear	30
1.2.6	El Consumo de Energía y el Desarrollo	32
1.3	Conservación de la Energía a través del Control	35

CAPITULO II. PROCESOS DE MAYOR CONSUMO

EN LA INDUSTRIA

2.1	Calentamiento (ó Cocción)	39
	A. Combustibles Gaseosos	41
	B. Combustibles Líquidos	42
	C. Combustibles Sólidos	43
2.1.1	Control del Flujo de Aire	44
2.1.2	Balance Calorífico	46
2.2	Generación de Vapor	48
	A. Calderas	49
	B. Compresores	51
2.3	Refrigeración	53
2.4	Evaporadores	57
2.5	Destilación	59
2.6	Procesos Exotérmicos	61
2.7	Secado por Rociadura	62

CAPÍTULO III. AREAS DE APLICACION DE LOS PROGRAMAS

DE OPTIMIZACION DE LA ENERGIA 65

3.1	Contabilidad de la Energía	
	a través de Computadores	69
3.2	Optimización de las Calderas	71
	A. Evaluación del Rendimiento de las	
	Calderas	71
	B. Despacho de Calderas	72
	C. Optimización del Deshollinado	73
3.3	Optimización de las Turbinas	75
	A. Desarrollo de la Evaluación del	
	Paquete para Turbinas de Vapor	75
	B. Control de la demanda en alimentadores	
	Eléctricos	77
	C. Despacho de Turbinas	78
3.4	Optimización en Cabezales de Vapor	79
3.5	Cogeneración	80
3.6	Datos de Eficiencia en el Manejo de	
	Calderas	82
	A. Optimización del Exceso de Aire	82

CAPÍTULO IV. LA INDUSTRIA PAPELERA. LA APLICACION

MAS COMPLEJA DE LA ENERGIA 84

4.1	Productos San Cristóbal,	
	Operación en su casa de Fuerza	84

4.2	Plan de Acción en dos Fases:	89
	A. Fase I. Contabilidad de la Energía Empleada	90
	B. Fase II. Optimización del Vapor y la Electricidad	92
4.3	Distribución Económica de la Carga	96
4.4	Control de Alimentadores	97
4.5	Balance del Cabezal de Vapor	99
	Punto de partida para la realización del análisis económico	101
4.6	Análisis Económico	102
	A. Breve descripción y comparación entre el proceso semiquímico - térmico y el proceso convencional de madera	102
	B. Análisis de inversión en planta para los dos procesos	107
	C. Análisis económico del sistema	111
	CONCLUSIONES	126
	APENDICE A. Definiciones	128
	APENDICE B. Compendio de Diagramas	136
	BIBLIOGRAFIA	146

"! QUE EXTRAÑO ES NUESTRA BREVE PROCESION POR LA VIDA !".

EL NIÑO DICE: CUANDO SEA UN CHICO GRANDE. PERO, QUE ES ESO?. EL CHICO GRANDE DICE: CUANDO SEA MAYOR. Y EL MAYOR DICE: CUANDO ME TITULE. Y EL TITULADO: CUANDO ME CASE. PERO QUE ES SER CASADO A FIN DE CUENTAS?. EL PENSAMIENTO CAMBIA A: CUANDO PUEDA RETIRARME. Y DESPUES, CUANDO LLEGA EL RETIRO, SE VUELVE LA VISTA HACIA EL PAISAJE ATRAVESADO; PARECE CORRER POR EL UN VIENTO FRIO. HAY ALGO QUE NO SE HA LOGRADO Y QUE DESAPARECE.

LA VIDA, SEGUN LO APRENDEMOS DEMASIADO TARDE, ESTA EN VIVIR EN EL TEJIDO DE CADA DIA Y CADA HORA.

S. L.

OPTIMIZACION DEL USO DE LA ENERGIA

EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS.

I N T R O D U C C I O N

La "Energía" puede ser definida como 'La capacidad que tienen los cuerpos ó sistemas de cuerpos para efectuar un trabajo'. Nadie es ajeno a la realidad que nos envuelve y que nosotros mismos estamos obligados a condicionar, transformar y hacernos cada día más dueños de ésta. El mundo debe ser lo que nosotros queremos que sea.

El mundo que nos ha tocado vivir es un mundo tecnificado que basa su desarrollo en tres grandes pilares: los recursos humanos, los energéticos y las materias primas. La armonía entre los tres determina el avance tecnológico y el bienestar material, ya que éstos factores sometidos a convenientes transformaciones nos procuran el trabajo útil necesario para nuestras realizaciones objetivas.

Los recursos económicos son un factor efecto del propio desarrollo y constituyen un equilibrio que facilita

los intercambios que exigen los medios para lograr el progreso deseado, y con los costos aumentando rápidamente cada año, la energía, a la cual enfocaremos nuestro estudio, se ha convertido en un factor muy significativo en el costo total de producción en las plantas industriales de todo el mundo. En el pasado, cuando la energía era relativamente poco costosa comparada con la materia prima, equipo de planta y mano de obra, era controlada a la ligera y a menudo desperdiciada. Pero hoy, es una historia diferente, ninguna empresa puede ignorar los costos de la energía y todavía pensar que puede competir.

La concepción de éste estudio resulto de la incesante interrogante, ¿ Qué alcance tiene el avance tecnológico en la crisis socio-económica de México ?. Diferentes enfoques dieron a luz buenas respuestas, ó quizá justificaciones !, sin embargo hay que aceptar que la crisis actual es un avasallador testimonio de las fallas del desarrollo en su inicio, creando un clima de incertidumbre en las garantías de progreso e incluso de supervivencia que hoy sufrimos. Consecuencia que hemos caído en el materialismo, en donde el hombre no será motivado por las necesidades e intereses materiales. Pues la vida del hombre parece estar comprometida por el volumen de la producción y por la capacidad de compra, ó de otra forma, por la oferta y la demanda.

Por tanto, considero que los hombres debemos mantener muy elevadas aspiraciones y exhibir una actitud de solícito servicio y en particular de ingenieros que nos vemos involucrados en la responsabilidad del manejo de la energía y de las materias primas, factores fundamentales que propician el desarrollo tecnológico, creando un mundo más amable y habitable.

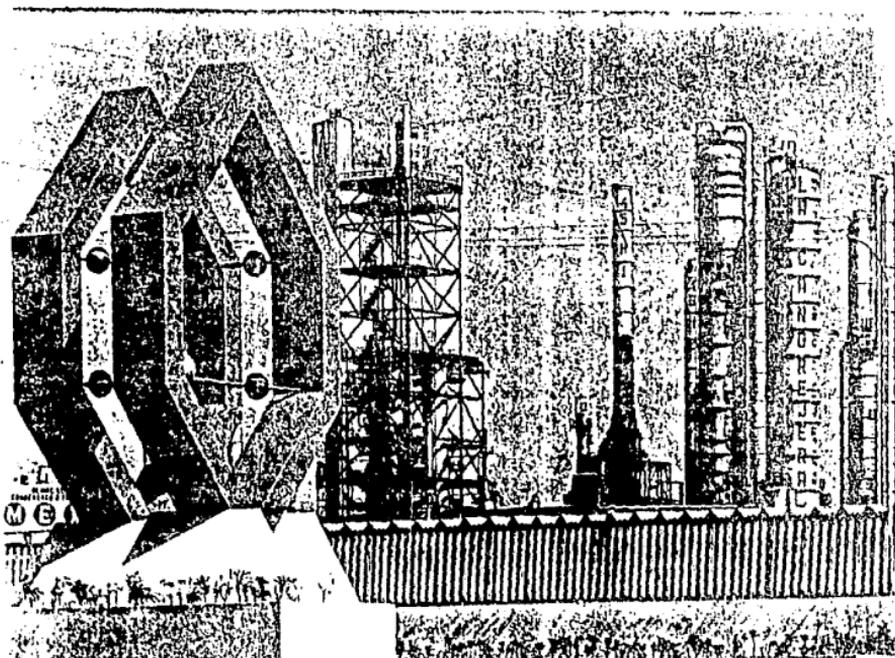
Debido a que las aplicaciones de la energía son tan numerosas a través de la industria de procesos, entendiéndolo como ésta, a los procesos que demandan una considerable cantidad de energía, he querido enfocar el estudio a aplicaciones que se encuentran corrientemente en las principales industrias de proceso en México con la siguiente secuencia:

En el capítulo I conoceremos los diferentes tipos de energéticos, su disponibilidad en México y sus principales fuentes. Así como el porqué de la necesidad de mejorar la eficiencia en el consumo de la energía a través del control y una optimización del uso de los energéticos.

En el capítulo II trataremos los diferentes procesos de mayor consumo de energéticos usualmente empleados en la industria transformadora.

En el capítulo III la idea es analizar las áreas en donde aplicar los programas de optimización racional de la energía y su funcionamiento dentro de lo planeado por medio de la administración de éstos en términos ingenieriles, aplicando ideas sencillas que prácticamente han dado excelentes resultados en el extranjero y ahora en algunas ramas de la industria mexicana vislumbran buen augurio.

En el capítulo IV a manera de concluir lo expuesto anteriormente, técnica y económicamente analizaré a consciencia éste programa de optimización con el análisis beneficio-costos de la comparación entre el proceso semi-químico - térmico de producción de papel a partir del bagazo de caña y el proceso convencional de madera.



CAPITULO I. ENERGETICOS

CAPITULO I

ENERGETICOS

" El conocimiento no es poder hasta que es aplicado ".

La primera ley de la Termodinámica establece que durante cualquier ciclo que siga un sistema, la integral ciclica del calor es proporcional a la integral ciclica del trabajo, ó bien, la energía de cualquier sistema aislado es naturalmente conservada.

De aquí la necesidad de estudiar cuánto de ése trabajo puede ser convertido en calor ó viceversa, entonces el término "Conservación de la Energía" necesita tener una cuantificación para en realidad lograr el esfuerzo de ahorro. Quizá sería más significativo denominarle como "Conservación de Combustibles". Para ello, un denominador común de las formas de la energía-combustibles, electricidad, vapor, radiación solar, etc. están estudiadas en los principios termodinámicos.

La segunda ley de la termodinámica establece que es posible cuantificar la energía asignándole valores a los niveles de energía, ya que el calor no puede ser convertido totalmente en trabajo dentro de un ciclo ó proceso. La razón de ésta limitación es que el equilibrio energético únicamente puede ser aprovechado por el flujo de calor y/o masa de el más alto al más bajo nivel de energía. (considerando que no existen sistemas ideales).

1.1 TIPOS DE ENERGETICOS

La energía hasta ahora se ha aprovechado de diversas fuentes, partiendo del hecho que los energéticos ó combustibles son causa de ésta energía, generalmente almacenados en yacimientos de combustibles fósiles, de materias nucleares, de acumulación de agua, de calor telérfico, ó bien pueden presentarse en diversos estados naturales antes de ser transformados por el hombre a formas más fácilmente utilizables.

Las tecnologías industriales del mundo actual dependen fundamentalmente de recursos fósiles, carbón e hidrocarburos (no renovables). Otra fuente de energía son: la energía hidráulica que es renovable, la energía solar que es inagotable; la energía geotérmica y la eólica también inagotable.

Como éstas existen otras que, en mayor o menor grado tienen una utilidad pues no se pueden aprovechar totalmente por limitaciones en su uso. Sin embargo la más importante en nuestra clasificación es la disponibilidad de éstos, por ello ahora clasificaremos a los energéticos como no renovables y renovables, fig. 1.1.

<< RECURSOS ENERGETICOS NO RENOVABLES >>

Dentro de este grupo se encuentran los combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas natural, esquistos y arenas bituminosas. Todos tienen como característica común una fuerte cantidad de carbón reducido. fig. 1.2.

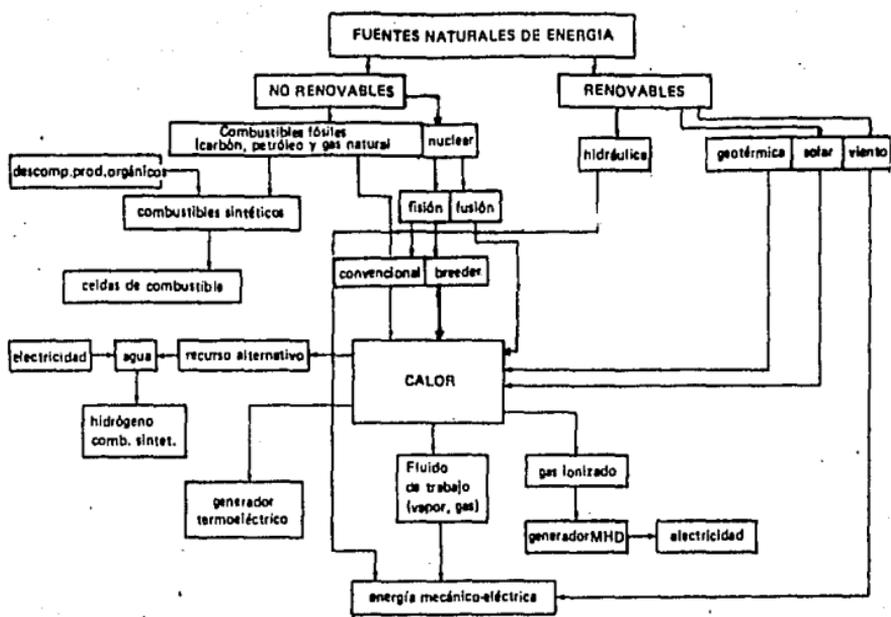


Fig. 1.1. Organigrama de conversiones energéticas.

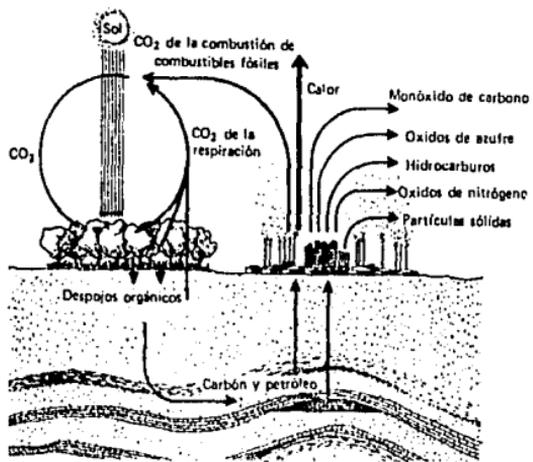


Fig.1.2. Ciclo de la energía que involucra a los combustibles fósiles.

1.1.1. EL CARBON.

El carbon mineral es una sustancia combustible compuesta fundamentalmente de carbonos y pequeñas cantidades de hidrógeno, azufre y cenizas.

El poder calorífico es la característica más importante de un carbon que va a ser usado como combustible. Se expresa en Kilocalorías* obtenidas por kilogramo de carbon quemado.

La TURBA es una materia vegetal parcialmente carbonizada; representa la primera fase de fosilización de los carbonos. Tiene un poder calorífico de 3000 a 6000 Kcal/kg. Por su contenido de humedad (40 a 70%) limita su uso industrial.

El LIGNITO es un combustible fósil con un proceso de formación más avanzado que la turba y aún contiene bastante humedad (25 a 40%). Su poder calorífico es de 4000 a 6000 Kcal/kg.

* 1 Kilocaloría = 1000 calorías; 1 Caloría = cantidad de calor necesario para hacer variar 1 grado centígrado, un gramo masa de agua a temperatura y presión normales, 1 BTU (BRITISH THERMAL UNIT) = 0,252 kcal.

La HULLA es un carbon mas avanzado. Su poder calorifico varia de 7000 a 8000 Kcal/Kg. Muchos carbonos bituminosos se calientan en retortas cerradas eliminando la materia volatil y el alquitran; el residuo de Carbon fijo forma una masa porosa coherente llamada coque. Otros subproductos de los carbonos bituminosos son una serie de compuestos organicos que tienen extensa aplicacion (tintes, aceites, perfumes, fertilizantes, plasticos, etc.). Para el futuro parece ser la forma de utilizacion de los carbonos.

La ANTRACITA presenta el ultimo grado de carbonizacion de los vegetales. Su poder calorifico alcanza 8000 a 9000 Kcal/Kg, y su humedad de 3 a 4%.

CARBON PULVERIZADO: La hulla, el coque y el lignito finamente pulverizados tienen mayor aplicacion industrial ya que flotando en el aire pueden arder en forma similar a un combustible gaseoso, tal como se hace en algunas calderas.

1.1.2. EL PETROLEO.

El petrleo es un combustible fosil de origen organico. El petrleo natural es un liquido oleaginoso, inflamable, de color caracteristico, color verde azulado obscuro, pardo obscuro o negro intenso. Compuesto

fundamentalmente por una solución muy compleja de hidrocarburos, con densidad entre 0.765 y 0.960. El petróleo contiene de 50 a 98% de hidrocarburos muy variados, desde los muy ligeros como el metano que destila a temperatura y presión normales hasta los muy pesados como la parafina y el alquitrán. El proceso de éstos últimos involucra una gran variedad de procesos como lo muestra la figura 1.3.

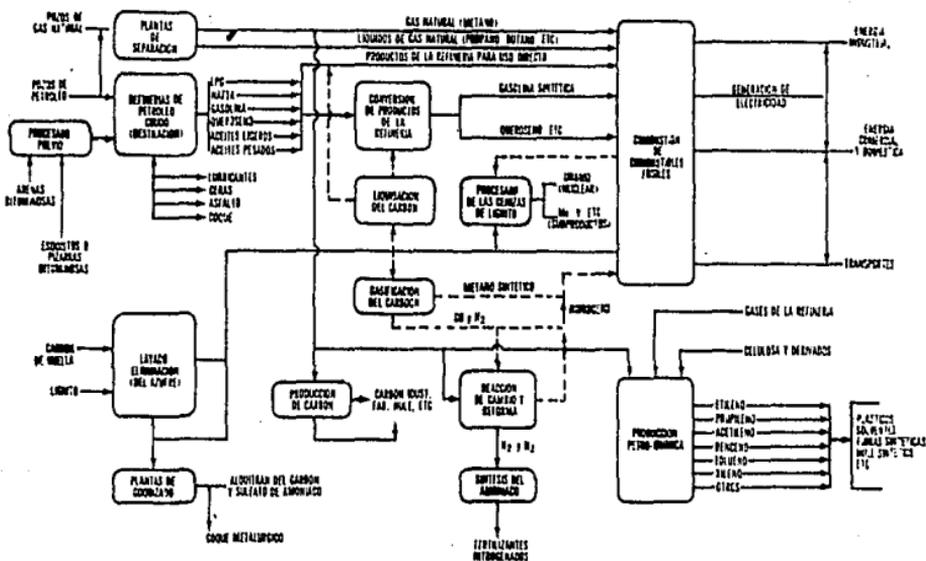


Fig 1.3. Organigrama esquemático de los combustibles fósiles.

El poder calorífico del petróleo crudo en la región del golfo de México es en promedio de 10500 Kcal/kg y su densidad promedio de 0.93.

De acuerdo con la densidad se suelen clasificar en ligeros y pesados. Así, si la densidad es de 30 grados Baumé o superior se consideran ligeros y si es de 20 grados Baumé a menos se tienen como pesados.

El petróleo crudo es sometido a refinación. Esta puede ser de diversos métodos. El "CRACKING" CATALITICO, HIDROGENACION, POLIMERIZACION o el "CRACKING TERMICO". El método primario es el de la "Destilación Fraccionada " que permite obtener diferentes productos a diferentes temperaturas en la torre fraccionadora, éstos son:

1.- Los Productos Blancos:

- A. Bencinas, éter de petróleo, nafta ligera, ligroína, (Pentano, Hexano y Heptano), de 20 a 120 grados centígrados.
- B. Gasolinas, aviación, turismo, pesado (Heptano, Triptano, 150 octano). De 90 a 135 grados centígrados
- C. Aguarras Mineral liviano, semipesado, pesado de 130 a 230 grados centígrados.
- D. QUEROSENO. Decano y Hexodecano de 160 a 280 grados centígrados.
- E. Gas oil. De 280 a 320 grados centígrados.

2.- Residual (o Mazut).

Destila aproximadamente de 300 a 360 grados centígrados y se obtiene el "fuel-oil" o combustible, aceites lubricantes, parafina, brea y coque.

Los productos que se obtienen de la destilación dependen de las aplicaciones que se encuentran en el mercado. El peso específico del combustible que se está usando en México es de 0.97 a 4 grados centígrados y su poder calorífico es de 10300 Kcal/kg. El diésel tiene un peso específico de 0.825 a 0.876 y un poder calorífico de 11000 Kcal/Kg. El gas L.P. (licuado) tiene un poder calorífico aproximado de 11700 Kcal/Kg. El del gas natural es de 8460 Kcal/m³. En la figura 1.4 se presenta el proceso de destilación del petróleo.

La diferente calidad de las gasolinas reside fundamentalmente en el octanaje. El número o índice de octano señala la capacidad de una gasolina de soportar presión y temperatura elevadas sin explotar espontáneamente, esto es, sin detonar.

Para analizar las gasolinas se utiliza un motor monocilíndrico patrón, en el cual las variables velocidad, temperatura y riqueza de la mezcla se mantiene constantes durante la prueba. Al iso-octano (C₈H₁₈) que es muy poco

1.1.3. EL GAS NATURAL.

La composición del gas natural corresponde a la de hidrocarburos que se volatilizan a temperatura ambiente. El componente principal es el metano, acompañado de etano y en pequeñas cantidades de propano-butano, pentano y hexano formando el gas húmedo, que por purificación se obtiene el gas seco cuyo uso industrial y casero tiene una composición promedio de 73.3% de metano, 14.4% de etano, 11.8% de nitrógeno y 0.5% de anhídrido carbónico.

El poder calorífico del gas natural es en promedio de 8460 Kcal/m³.

Para la misma potencia calorífica, el precio del gas natural viene a ser la décima parte que el de la hulla y un tercio que el del petróleo, (en condiciones externas a las políticas cambiantes).

El gas natural se presenta en el subsuelo en estructuras similares a los del petróleo y los métodos de exploración y explotación son semejantes a los de éste. Con frecuencia el gas natural aparece en los mismos yacimientos de petróleo, ya sea en solución con éste (gas asociado) o en una capa superior. En otro tipo de geología sólo aparece gas (gas no asociado). Aproximadamente 40% de las reservas son de gas asociado y 60% de gas no asociado, fig.1.5

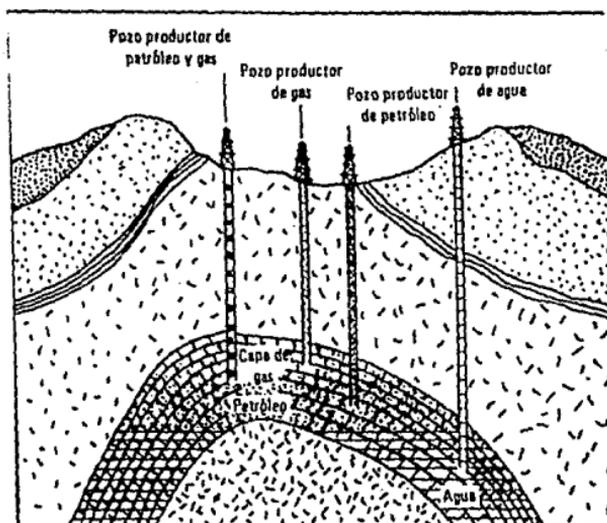


Fig. 1.5.
Geología del
petróleo.

1.1.4. ESQUISTOS Y ARENAS BITUMINOSAS.

Son formaciones minerales combustibles formadas por keroseno, producto complejo de hidrocarburos muy pesados que se presentan en forma pastosa, muy densa y en ocasiones sólida.

Los yacimientos de esquistos y arenas bituminosas se hallan generalmente en la superficie de la tierra o muy cerca de la misma en arenas parecidas a las del carbón.

Los depósitos de esquistos y arenas bituminosas constituyen la reserva más grande en el mundo de combustibles fósiles. Sin embargo, hasta ahora resulta más ventajoso explotar el petróleo y el gas natural.

1.1.5. ENERGIA NUCLEAR.

A partir de la fisión del isótopo 235 del uranio se ha empleado como combustible en plantas nucleoelectricas para atenuar la creciente demanda de energía eléctrica en el mundo.

La fisión del núcleo o desintegración atómica del U235 se realiza bombardeando el átomo con neutrones lentos lo que da lugar a 40 isótopos de átomos ligeros, con la pérdida de masa cuantificable por la ecuación de Einstein $E=mc^2$, en una energía dinámica de los fragmentos de fisión y en una energía radiante, los cuales se manifiestan en forma de calor, que es la forma de la energía aprovechable.

Buscando equivalencia, la fisión de un gramo de U235 produce las mismas calorías que 2 Tm* de combustible. Aproximadamente 171 Tm de U_3O_8 generan 1000 Mw-año de energía eléctrica en reactores de agua ligera.

* TONELADA METRICA = Tm.

<< RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES. >>

Dentro de éstos se encuentran los aprovechamientos hidráulicos, la energía geotérmica, la energía solar, la energía eólica.

Con excepción de los aprovechamientos hidráulicos el resto está poco desarrollado, de manera que la energía total generada por todos los recursos renovables represente escasamente el 4% de la energía total consumida en el mundo. De aquí que la importancia de administrar óptimamente los energéticos no renovables ó bien, dedicarse a la investigación de otras fuentes potenciales de energía que sustituya a las actuales.

1.1.6. APROVECHAMIENTO HIDRAULICO.

A. La forma usual de aprovechamiento es convertir la energía dinámica del agua en descenso en energía de presión ó carga estática, ya sea captando el agua en una tubería de presión, ó bien, reteniendo la corriente por medio de una cortina construida en el cauce de los ríos.

B. La energía del agua del mar que se origina con el flujo y reflujos de las mareas también es aprovechada en plantas maremotrices; hasta ahora se ha alcanzado tener una potencia instalada de 240,000kw en la desembocadura del Rance, en la Bretaña Francesa.

Combustibles	Densidad	Poder calorífico	Equivalente en m ³ pet. crudo
Petróleo crudo	0.865	8×10^6 kcal/m ³	1.000
Gas natural seco	0.62 (r. aire)	8.46×10^3 kcal/m ³	1.058×10^{-3}
L.P.	0.55 (prom)	6.6×10^6 kcal/m ³	0.825
Gasolina	0.72	8.15×10^6 kcal/m ³	1.020
Querosina y Turbosina	0.79	8.84×10^6 kcal/m ³	1.100
Diesel	0.84	9.24×10^6 kcal/m ³	1.150
Combustóleo	0.97	10^7 Kcal/m ³	1.250
Carbón		5×10^6 kcal/Tm	0.625

1 Tm. carbón mexicano (8000 kcal/kg.) equiv. a 0.726 Tm e.c.
 1 m³. petróleo mexicano equiv. a 1.16 tm e.c.
 1 barril de petróleo crudo (159 lbs) equiv. a 0.185 Tm e.c. = 1.37×10^6 kcal.
 1 m³ gas natural seco equiv. a 1.23×10^{-3} Tm e.c.

Fig. 1.6. Estimado de combustibles mexicanos.
 e.c. = equivalente de carbón.

1.1.7. ENERGIA GEOTERMICA.

Los depósitos naturales subterráneos de vapor y agua caliente tienen su origen en la energía calórica de la magma incandescente de la masa terrestre, los cuales se hallan muy distribuidos en todas las rocas y con mayor concentración en las graníticas.

Las fuentes de energía geotérmica utilizable son de tres tipos:

A.- Campos de Vapor Seco, éste vapor se emplea directamente en las turbinas para la generación de electricidad ya que es readaptable a las exigencias de las máquinas. El vapor seco que brota directamente de éstos yacimientos está relativamente a baja presión.

B.- Campos de Vapor Húmedo, su temperatura varía entre 180 y 370 grados centígrados con presiones hasta de 200 atmósferas en estado líquido en reservorios subterráneos. El agua se convierte parcialmente en vapor (10 a 20%) al descargar a la presión atmosférica, el cual es aprovechado en las turbinas, el agua es distribuida por canales para diversos usos.

C.- Campos de Baja Temperatura, son campos con grandes cantidades de agua a temperatura entre 50 y 82 grados centígrados que puede emplearse como fluido de trabajo en intercambiadores de calor.

1.1.8. LA ENERGIA SOLAR.

La energía del sol que emite por radiación tiene su origen en procesos de fusión a unión de elementos químicos ligeros para formar otros más pesados

La reacción en cadena que mantiene la actividad solar tiene su origen en la combinación de protones, de los núcleos de hidrógeno (H1), para formar deuterio (H2) el cual captura a uno o más protones para formar helio.

La razón a la cual la tierra está recibiendo energía del sol se conoce como 'Constante Solar'. Técnicamente se define como la cantidad de energía que cae por unidad de tiempo sobre una unidad de superficie plana expuesta perpendicularmente a la dirección de la radiación solar, fuera de la atmósfera, y a una distancia promedio de la tierra al sol. Se admite así como valor energético 2 calorías por cm² por minuto, a una potencia de 1.36kw por m².

Integrada la energía diaria recibida sobre una superficie horizontal en días claros en lugares de la tierra de baja latitud, se pueden obtener de 6 a 8 kwh/m².*

* INFORME DE LA ACADEMIA NACIONAL
DE CIENCIAS WASHINGTON, D.C.

1.1.9. ENERGIA EOLICA

El movimiento de masas de aire atmosférico se denomina viento, que tiene su origen en diferencia de presiones que se crean en diversos puntos de la tierra.

Para que la energía del viento encuentre utilización en un sistema de conversión con fines prácticos es preciso que el viento ofrezca ciertas características mínimas para el nivel de utilización que se pretende. Sin duda la más importante es la regularidad con que se manifiesta el viento, unida a ciertas condiciones de velocidad más o menos constantes. De ésta manera la turbina de conversión o dispositivo de aprovechamiento de la energía dinámica del viento se podrá concebir obteniendo rendimientos aceptables, justificando la inversión económica que exige una instalación de ésta índole.

**1.2 DISPONIBILIDAD EN MEXICO
DE ENERGETICOS.**

1.2.1 PRODUCCION DE CARBON.

En México la producción de carbón es muy escasa a falta de yacimientos abundantes, (fig 1.7) y de alta calidad que justifique una explotación por ende costosa. El carbón mexicano apenas llega a las 5000 Kcal/Kg.



Fig. 1.7. Principales cuencas carboníferas en México.

Según M. King Hubbert de la "U.S. Geological Survey", las provisiones de carbón que almacena la tierra pueden servir como fuente de energía por dos ó tres siglos más. El petróleo puede alcanzar para 50 a 60 años de acuerdo con resultados de la exploración y el ritmo que se imponga al consumo. La vida de gas natural será más corta, quizá 40 ó 50 años según la exploración y el ritmo de consumo.

1.2.2. PRODUCCION DE PETROLEO.

México ha sido tradicionalmente un importante productor de hidrocarburos a nivel internacional. Durante parte de la segunda y tercera décadas del presente siglo fué el primer exportador de crudo a E.U.A. y el segundo productor mundial.

En el informe estadístico mensual del 9 de Julio de 1987, sobre exportación de petróleo crudo y productos petrolíferos, PEMEX destacó:

En Mayo de 1987 se exportó 1 329 000 barriles diarios de petróleo crudo y se importaron, en términos netos, ocho mil barriles diarios (MBD), de productos petrolíferos.

1987	TOTAL MBD	CRUDO ISTMO	CRUDO MAYA	*PRODUCTOS PETROLIFEROS
1er trimestre	1347.8	528.7	819.0	50.0
ABRIL	1327.4	502.5	824.9	9.2
MAYO	1329.3	503.4	825.9	8.4

* Exportaciones netas: exportaciones menos importaciones.

Respecto de los precios de venta, en el mismo mes, el precio promedio del crudo Istmo y del Maya en el Continente Americano, fué de 18.78 y 17.22 dólares por barril respectivamente; en el Japón fué de 17.46 y 14.70 dólares, en ese orden. En Europa fué de 17.67 y 15.39 dólares por barril.

En ese mes de Mayo, las ventas de exportación de petróleo crudo, tuvieron el siguiente destino:

1987	TOTAL %	E.U.	RESTO DE AMERICA	ESPAÑA	RESTO DE EUROPA	LEJANO ORIENTE
1er trimestre	100.0	48.2	7.0	13.1	19.4	12.3
ABRIL	100.0	51.7	5.2	14.5	20.3	8.3
MAYO	100.0	46.0	4.6	15.5	17.1	16.8

De ésta manera México se ha colocado en una posición petrolera envidiable a nivel internacional, como lo muestra la figura 1.8.

Fig. 1.8. Producción mundial de petróleo crudo y líquidos del gas por bloques de países, 1973 - 1986. (Miles de barriles diarios promedio).

BLOQUE	1974	1977	1980	1984	1986
OPEP	31280	31090	31465	18275	18500
No-OPEP	17085	16380	19910	23060	24600
* Mar del Norte	40	525	1995	3030	3400
* Norteamérica	13065	11340	11905	11745	12000
* México	805	1200	2155	3725	3900
* Otros	3155	3315	3855	4560	5300
ECP	10170	12605	14410	15060	15300
TOTAL	58515	60075	65785	56395	58400
OPEP/TOTAL	53.5%	51.7%	47.8%	32.4%	31.7%
No-OPEP/TOTAL	29.2%	27.3%	30.3%	40.9%	42.1%

Fuentes: British Petroleum;
 Agencia Internacional de Energía y cálculos propios.
 ECP = Economías Centralmente Planificadas.

Bajo las condiciones anteriores y suponiendo la participación de la ORGANIZACION DE PAISES EXPORTADORES DE PETROLEO (OPEP) poco agresiva, es de esperarse que México no traspase límites ajustando la producción del petróleo al ritmo que permita el desarrollo socio-económico del país.

1.2.3. EL GAS NATURAL Y SU PRODUCCION.

Según el informe de la WAES (WORKSHOP ON ALTERNATIVE ENERGY STRATEGIES, Junio del '87), proyecto auspiciado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, los pronósticos para la demanda de gas natural en los países industrializados de occidente son, (fig.1.9.):

Fig. 1.9. Pronóstico sobre la demanda de gas natural en países industrializados en occidente X 10 m / año.

ARO/ZONA	DEMANDA	PRODUCCION	IMPORTACION
1988			
América del Norte	644.0	593.0	51.0
Europa Occidental	286.0	200.0	86.0
Japón	51.4	5.7	45.7
T O T A L	981.4	798.7	182.7
2000			
América del Norte	615.0	456.0	159.0
Europa Occidental	350.0	114.0	236.0
Japón	91.0	5.7	85.3
T O T A L	1056.4	575.7	470.3

Fué necesario que México tuviera un grado de desarrollo aceptable que justificara la realización de gasoductos para satisfacer demandas importantes. Desde 1950 a la fecha el consumo ha sido notable:

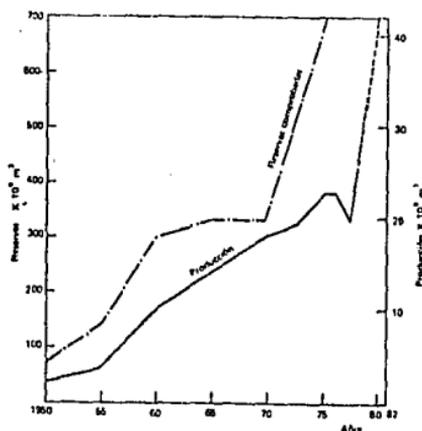


Fig. 1.10 Producción y reservas de gas natural en México. (Gráfica elaborada por PEMEX).

En México un gasoducto troncal permite conectar las zonas productoras de gas del Area de Reforma con los sistemas de consumo en el norte. El gasoducto tiene una longitud de 1247Kms. que atraviezan Cactus, Chiapas, San Fernando, Tamaulipas, según se aprecia fig.1.11:

Fig. 1.11. Sistemas de gasoductos en México.



1.2.4. LA ENERGIA HIDROELECTRICA Y SU RELACION CON LA TERMoeLECTRICA.

Los costos de instalación de plantas hidroeléctricas son más elevados que los de las plantas termoeléctricas aproximadamente en la proporción de 2 a 1, esto es 450 a 500 dólares por Kilowatt instalado en plantas hidroeléctricas, contra 250 dólares por Kilowatt instalado en plantas termoeléctricas, (1986). Sin embargo, los costos de

operación y mantenimiento son notablemente más altos en las plantas térmicas que gastan combustible en relación con las plantas hidráulicas que no lo consumen.

En la figura 1.12 se localiza el potencial hidroeléctrico de México, cuyas cuencas más importantes son las de Usumacinta-Grijalva.

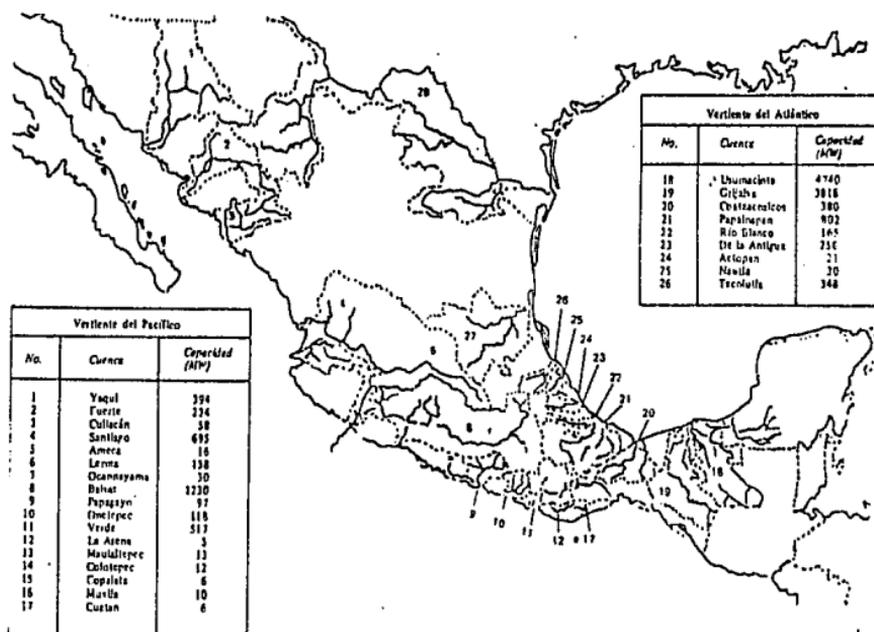


Fig. 1.12. Localización del potencial hidroeléctrico en México.

1.2.5. LA ENERGIA NUCLEAR

México se inicia en la era del aprovechamiento de la energía nuclear con el controvertido proyecto de la nucleoelectrica de Laguna Verde, situada 77Km. al norte de Veracruz. Dicha planta consta de 2 reactores tipo BWR (Boiling Water Reactor) de agua ligera u ordinaria con capacidad de 650 000 Kw cada una (fig. 1.13).

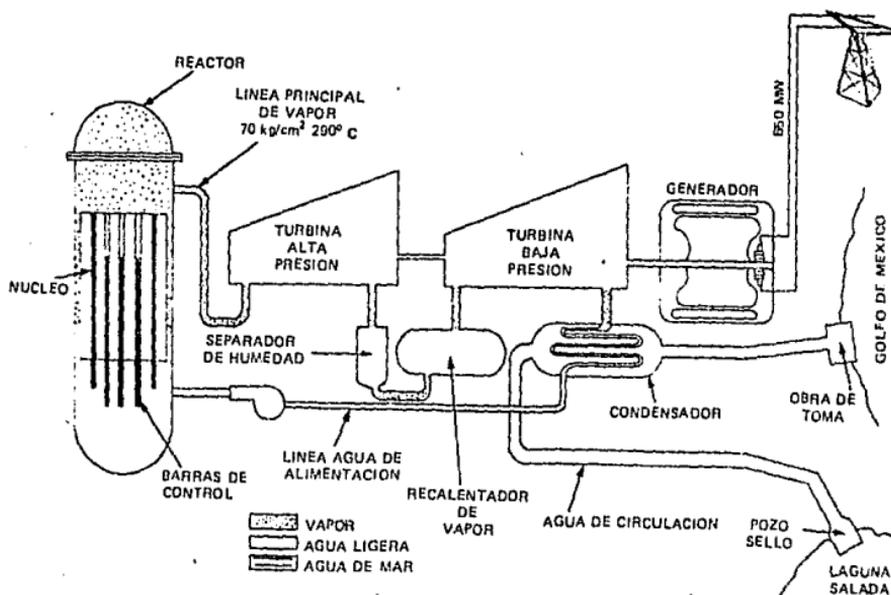


Fig 1.13. Reactor tipo BWR ("boiling water reactor").

El combustible será uranio enriquecido comprado a E.U.A., lo que crea una dependencia con dicho país. Aunque México sí cuenta con recursos de uranio, sólo se realiza el concentrado del mineral que contiene el óxido de uranio (U_3O_8); no se hace el enriquecimiento del óxido para convertirlo en UO_2 , cuyo proceso es complicado y costoso.

En la figura 1.14 se localizan los yacimientos de uranio en México.



Fig 1.14. Yacimientos de uranio en México.

1.3 CONSERVACION DE LA ENERGIA A TRAVES DEL CONTROL.

Historicamente, la tecnologia del control ha enfocado su atención a minimizar la desviación de una variable de algún punto de ajuste dado arbitrariamente por otros. Mientras éste estudio ocupa gran porcentaje de las carreras de muchos ingenieros y científicos, esto sólo representa parte de los problemas que involucran una sucesión de operaciones de una planta. Sin embargo, las prácticas de ingeniería en control, han llegado más lejos de la influencia que en la operación de las plantas y las responsabilidades que el trabajo parecería contener. De hecho, un alto desarrollo de la ingeniería de control puede obtener más producción que de los límites del equipo de la planta y contribuir mucho a reducir los costos de operación más que cualquier otra estrategia en la planta.

Si la tecnología de control es restrictiva, podría entonces un ingeniero en control contribuir en buena forma a la operación de la planta?

Las respuestas mentirían en el sentido que el debiera lograr sus aciertos del control efectivo sobre las variables relevantes de la planta. Si el control es

aplicado con un escaso entendimiento de como la planta funciona o que necesita, el desarrollo sera pobre, y las operaciones entonces harán a un lado a los ingenieros de control. El más efectivo sistema de control es una incorporación de las características del proceso a controlar, incluyendo sus fallas y limitaciones, sus interacciones y demandas. Como en un buen matrimonio, la planta y su control debe trabajar como uno, para deleite y satisfacción del director y los operadores igualmente. Pero esto no es fácil de llevar a cabo. Para diseñar un sistema de control que funcione efectivamente, la planta necesita que sus directores, operadores y diseñadores comprendan las rivalidades que ésta presenta.

La importancia del elemento humano en el buen manejo de los recursos de una empresa es fundamental, ya que la potencialidad de una empresa se determina por la suma de los esfuerzos e intereses afines de cada uno de sus miembros.

La energía en cualquiera de sus formas, permite mover todo proceso productivo, desde que se recibe la materia prima, hasta que termina como producto terminado.

Sí además consideramos que los recursos energéticos no renovables son cada vez más escasos, y por lo mismo más costosos, podemos visualizar la importancia que representa

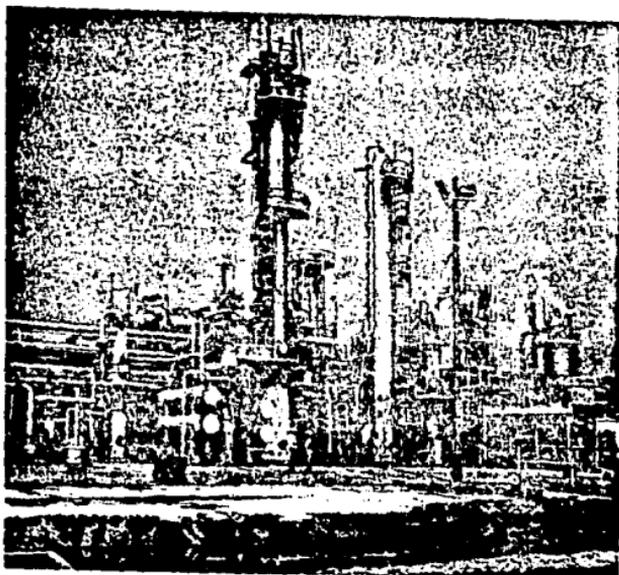
todo esfuerzo encaminado a mejorar el uso de la energía.

En los últimos años éste tema del ahorro de la energía en sus diversas formas ha tomado mucho interés, se han realizado varios seminarios en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) en conjunto con PEMEX-JCCP/JAPAN (COOPERATION CENTER FOR PETROLEUM INDUSTRY DEVELOPMENT), sobre conservación y ahorro de energía y control en refinerías. El 12 de Septiembre del '87, se le hizo una pregunta a uno de los presentes japoneses, ¿Qué se hace en el caso de las fugas de vapor?, a lo que contestaron; ¿Qué es eso?. Esta respuesta enmarca toda una forma diferente de interpretar la realidad a la que el trabajador mexicano está acostumbrado. En nuestros centros petroquímicos ó de refinación se considera normal que existan fugas de vapor ó condensados. Para nosotros un desperfecto es aquél que tiene repercusiones drásticas, si no es así, consideramos que no lo es. El trabajador japonés ya no acepta, aún a nivel personal, las pérdidas energéticas y actúa de inmediato para impedir las. Explicaba uno de los japoneses que cuando se detecta una fuga de vapor se tapa de inmediato y es de tal manera efectiva la forma de hacerlo que ésa reparación no vuelve a inquietarlos.

Por el contrario, en México debido a diferentes aspectos que forman el pensamiento del mexicano respecto de su ideosincracia, la responsabilidad del manejo de la

energía se queda a nivel proyecto entro papeles, planos y diagramas de tuberías o instrumentación.

Durante el periodo de realización del presente trabajo, tuve la oportunidad de visitar varios complejos industriales, tanto de la empresa privada como de las paraestatales y tristemente puedo constatar lo anteriormente plasmado respecto de la pobre consciencia del personal que está al frente de la mayoría de las plantas industriales de procesos.



**CAPITULO II. PROCESOS DE MAYOR CONSUMO DE
ENERGETICOS EN LA INDUSTRIA.**

CAPITULO II

PROCESOS DE MAYOR CONSUMO DE ENERGETICOS EN LA INDUSTRIA.

"Lo que importa no es lo que el destino nos hace, sino lo que hacemos al destino".

Mucho del combustible que es consumido en calderas industriales, hornos y otros equipos caloríficos es derrochado debido a que el proceso de la combustión no es cuidadosamente controlado. Generalmente en éstos equipos el flujo de aire es mucho mayor al óptimo con el propósito de evitar riesgos y emisión de humo. Mientras éste modo de operación es seguro, éste dista mucho de ser económico. El problema del control se complica mucho más allá de éstas costumbres, ya que la composición de los combustibles (poder calorífico) no es siempre igual.

El control de la contaminación ambiental es otro importante aspecto de la combustión. Algunos productos indeseables de la combustión, tales como el dióxido de azufre (SO_2), no pueden ser evitados y deben ser removidos externamente al proceso de la combustión. Otros, tales como los residuos de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, y los óxidos del nitrógeno, pueden ser controlados

por ajustes directos al combustible-proporción de aire y temperatura de la flama. Estas intrincadas relaciones que guardan todos éstos factores serán tratados, principalmente con vistas al desarrollo de sistemas de control los cuales pueden optimizar el desarrollo de los procesos de combustión.

2.1 CALENTAMIENTO O COCCION

El proceso de calentamiento existe, en una forma u otra, en industrias tan diversas como acerías, y procesamiento de pulpa y papel, o alimentos. Sin importar la aplicación específica, todos incluyen un ciclo de calentamiento, remojado o cocción.

Un control inadecuado de ésta operación puede desperdiciar una cantidad considerable de energía, mientras que un buen control puede efectuar impresionantes ahorros de la misma. Idealmente, el producto debe ser traído a la temperatura deseada gradualmente para asegurar una distribución uniforme del calor, ó para evitar chamuscado ó quemado, fuera cual fuere el caso. Sin embargo, el gradiente de temperatura debe mantenerse lo suficientemente pronunciado como para obtener la temperatura adecuada sin consumo excesivo de energía...la condición representada por

la curva de Buen Control ('Good Control') en la figura 2.1. También se muestra el perfil de temperatura caracterizada por la curva de Control Pobre ('Poor Control'), con el área sombreada entre las dos curvas representando el ahorro potencial de energía.

La curva de "Control Pobre" surge por dos causas: primero, no se ha puesto en operación la mejor práctica operativa y segundo, los controles envueltos son mínimos o no están siendo mantenidos.

Con un sistema de control efectivo utilizado apropiadamente, la eficiencia de horno, digestor, o el equipo que sea, puede ser mejorada considerablemente, con los correspondientes ahorros de energía, a menudo hasta de un 10 por ciento.

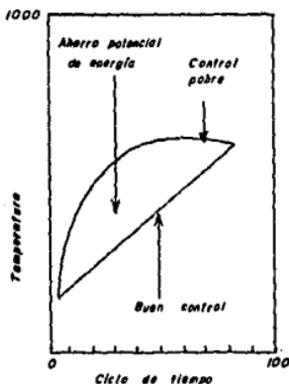


Fig 2.1. Curva del potencial energético en un ciclo de calentamiento.

El óptimo rendimiento del proceso de combustión es obtener la máxima cantidad de calor proveniente de la oxidación del combustible (mezcla aire-combustible exacta).

Naturalmente, cada combustible tiene sus características particulares, relacionadas no sólo con su estado físico sino también con su composición química. Estas propiedades deben ser evaluadas para combustibles gaseosos, líquidos y sólidos.

A. COMBUSTIBLES GASEOSOS.

El más común de los combustibles gaseosos es el gas natural, conteniendo 75 a 95% de volumen de metano. El metano oxida de una mol de dióxido de carbono a dos de agua:



El calor que produce la combustión de cualquier combustible que produce agua como un producto de ésta, puede ser expresado en dos formas. Un valor alto por calor latente de vaporización y uno bajo por la producción de agua en fase de vapor. El más alto valor del metano es de 9691 Kcal/m³ en condiciones estandar y el valor bajo de 8716 Kcal/m³.

El combustible generalmente es inyectado en un sistema de dos tubos que comprenden una 'T' simple de mezclado con regulaciones independientes para el gas y el aire, o bien quemadores de toberas mezcladoras con distintas placas desviadores internas para mejorar el mezclado del gas y el aire.

Comunmente la presión del combustible gaseoso varía durante su inyección lo que hace variar el flujo, perdiendo el equilibrio energético de oxidación, por lo que debe emplearse un regulador de presión insertado línea arriba en la alimentación de la válvula de control del flujo, con un flujo metro intermedio como se muestra:

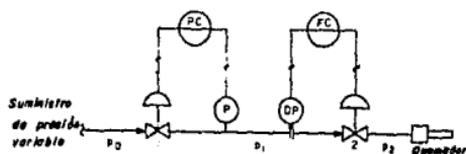


Fig. 2.2 Relación entre la presión y el flujo en quemadores de combustible gaseoso.

B. COMBUSTIBLES LIQUIDOS.

Los más comunes combustibles líquidos son aceite combustible y alquitrán, provenientes de la destilación ligera de combustibles residuales. Difieren principalmente

en su viscosidad, por lo que hace muy importante la exacta medición en la alimentación. Estos aceites deben ser controlados por presión y viscosidad para asegurar una combustión completa. Un problema particular de los combustibles pesados es la variación de la viscosidad con la temperatura. Por lo tanto, un sistema para ahorrar energía en la estación de bombeo y aprovechar el poder calorífico de los combustibles líquidos, usualmente es conveniente la siguiente distribución de control:

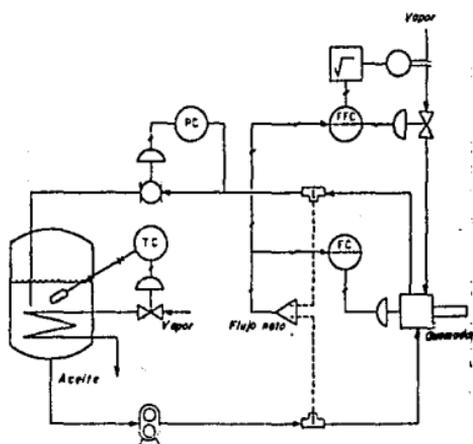


Fig. 2.3 El flujo neto de combustible quemado es la diferencia entre el flujo del quemador y el recirculado.

C. COMBUSTIBLE SOLIDO.

Generalmente es usado el carbon pulverizado y no es adaptable en donde la atmosfera deba estar exenta de partículas de ceniza. Un combustible sólido debe ser

contabilizado, pesado y transportado al quemador, usualmente en ese orden. En una caldera de carbón pulverizado, el carbón es transportado al pulverizador por medios gravitacionales, donde el flujo de masa es controlado como se muestra:

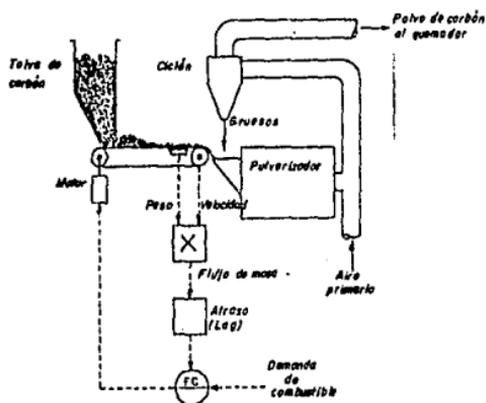


Fig. 2.4 Aplicando un retraso al flujo de carbón, la señal es entonces una representación dinámica de lo demandado.

2.1.1. CONTROL DEL FLUJO DE AIRE.

Este control es tan importante como el control del combustible. En el pasado, el aire era suministrado en exceso con la creencia de consumir totalmente el combustible, por lo que el humo y el peligro a explosiones era frecuente. Sin embargo, el exceso de aire diluye el

proceso de combustión, reduciendo la temperatura de la flama e incrementando las pérdidas del sistema. Diferentes cálculos de las pérdidas de calor en función de la temperatura y el porcentaje de oxígeno, demuestran que lo óptimo es minimizar el exceso de aire. Con el incremento en los costos de combustible, el control del exceso de aire es un incentivo bastante fuerte para controlarlo. El sistema simplificado de control es:

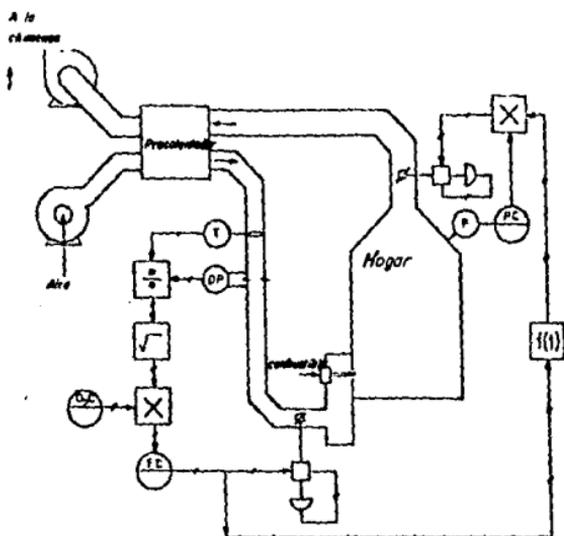


Fig. 2.5. El control del flujo de aire y la presión del horno requieren la coordinación de los reguladores de entrada y salida del tiro.

2.1.2. BALANCE CALORIFICO.

El balance calorífico constituye un método para contabilizar la energía térmica que entra en el sistema y su distribución final en la absorción útil de calor y en pérdidas térmicas. Las partidas del balance calorífico y los métodos para medir y calcular las cantidades que intervienen en él se exponen detalladamente con códigos o reglamentos relacionados que tratan del diseño y utilización de los instrumentos y aparatos necesarios.

En su forma más simple, el rendimiento térmico total se expresa por la fórmula que suele mencionarse en el cálculo como el método del consumo y la producción.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Calor absorbido (Kcal/Hr)}}{\text{Calor consumido (Kcal/Hr)}} \times 100$$

Las partidas principales, de la pérdida térmica son las debidas al calor sensible, por encima de una temperatura de referencia, de los gases que salen de la instalación, al calor latente relacionado con la evaporación de la humedad del combustible y con la formación de vapor que resulta de la combustión del hidrógeno del mismo, a la pérdida por combustible no quemado y a la pérdida debida a la convección y radiación al exterior de la montadura de las

calderas. Las dos primeras partidas se determinan por medio del análisis del combustible, de la temperatura de salida de los gases y del análisis de los gases de los conductos de humos. La pérdida por combustible no quemado se halla mediante un muestreo cualitativo y cuantitativo en los desperdicios y de las cenizas volantes. La radiación externa puede estimarse en detalle, pero se encuentra fácilmente un valor aproximado con la figura 2.6:

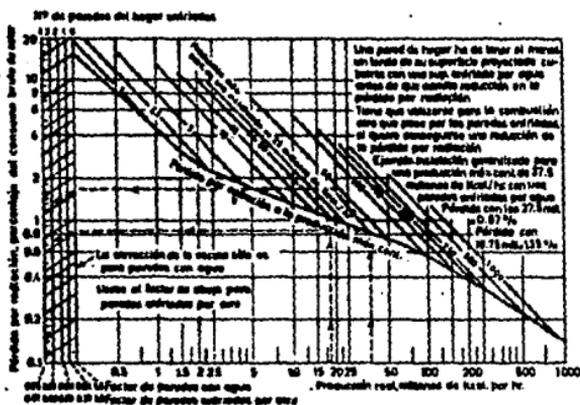


Fig. 2.6 Pérdida externa de calor por la montadura de la caldera.

2.2 GENERACION DE VAPOR.

Una parte integral de cada complejo industrial es la generacion de vapor, o bien el recinto de calderas. En algunas aplicaciones, las calderas son unidades de baja presión para suministrar vapor a procesos y calentamiento exclusivamente. Sin embargo mucha energía puede ser generada con unidades de alta presión de vapor que hace funcionar el equipo mecánico destinado a ello y además aprovechar el vapor de salida para calentamiento. Así los nuevos procesos en las plantas cuentan con diferentes tamaños de equipo para disponer vapor a alta presión y emplearlo en las turbinas. La relación entre trabajo y calor en pocos casos es de pensarse sencilla, de manera que se debe proveer un óptimo balance con un adecuado control.

Aunque varios cabezales de vapor pueden estar en su específica presión, o estar bajo buen control, se ahorra mucho si se coordinan unos con otros. Mucha coordinación debe ejercer un sistema de control partiendo de las demandas de vapor y el suministro de éste para crear las condiciones óptimas de trabajo.

Esta nueva filosofía ha creado sorprendentes ahorros de energía en las plantas generadores de vapor. En el pasado, existía poca comunicación entre la generación del vapor y los usuarios de ésta, por lo que hay que imaginar demandas

variables, excesos y faltas de vapor subsecuentemente. De ésta manera los procesos que requieren vapor no usen más de lo generado en los cabezales dejando oportunidad de más aplicaciones al mismo equipo.

Los incentivos para optimizar una planta que genera vapor son muchos. No sólo el combustible es ahorrado, sino el consumo del agua, el uso de válvulas, bombas y turbinas son reducidas. De igual importancia, la carga de vapor puede ser reducida substancialmente incrementando la producción sin necesidad de adicionar otra caldera para contar con más vapor.

A. CALDERAS.

Escencialmente, una caldera es un recipiente cerrado dentro del cual contiene agua tratada, que a través de aplicación de calor, ésta es convertida en vapor saturado. En antiguos diseños, las calderas éran simples cuerpos o armazones con una alimentación de agua y otra de vapor. El combustible para conseguir vapor era en grandes cantidades quemado y en contacto directo al recipiente.

Los diseñadores pronto aprendieron que era necesario buscar mayor área de contacto entre el calor y el agua, por lo que surgió el diseño de tubos de humo (fig. 2.7), el cual tiende a distribuir más uniformemente el calor al volumen de agua.

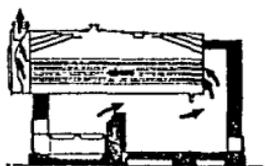


Fig. 2.7 Caldera típica de tubos de humo.

En contraste con la idea de tubos de humo, se pensó en tubos de agua (fig. 2.8), ésta permite mayor aprovechamiento del flujo de calor, menor mantenimiento, mayor cantidad de tubos y alcanzar altas presiones.

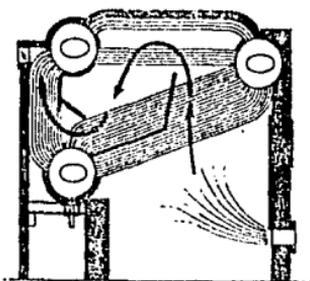


Fig. 2.8 Caldera típica de tubo de agua.

Los modernos paquetes de calderas emplean superficies altamente conductoras al calor para desarrollar la más alta eficiencia, fig.2.9 .

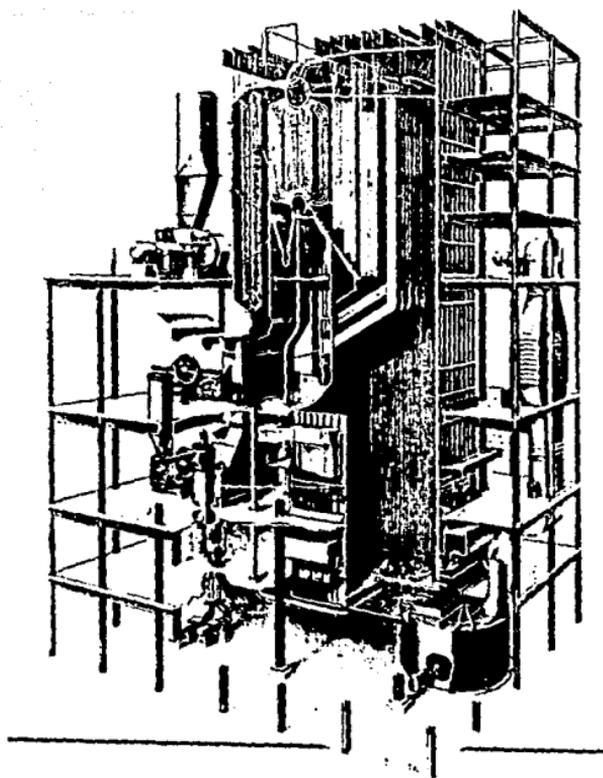


Fig. 2.9. Esquema real de una caldera de tubos de agua.

B. COMPRESORES.

El rendimiento volumétrico de un compresor de aire o de gas es la relación del aire libre a la presión y a la temperatura de admisión, que es realmente aspirado, al desplazamiento del émbolo ó cilíndrada. Las fuentes

principales de pérdida volumétrica son por estrangulamientos de la circulación, calentamiento del aire durante la admisión al cilindro, fugas que pasan por las válvulas y los émbolos, y reexpansión del aire en el espacio muerto. Excepto la última partida, ninguna de estas pérdidas puede medirse directamente, de manera que una determinación del rendimiento volumétrico exige la medida real del aire entregado. El orificio de baja presión es usado generalmente para éste fin. La figura 2.10 ilustra un diagrama típico de compresor. La pérdida por el espacio muerto es proporcional a MK . Si la línea de expansión en el espacio muerto sigue la ecuación $P_1 = V_1^n = P_2 V_2^n$, en la que el espacio muerto o perjudicial $C = V_1 / L$, entonces: $V_2 / L = (P_1 / P_2)^{1/n} C$; La pérdida volumétrica debida al espacio muerto puede expresarse también por:

$$\frac{V_1 - V_2}{L} = C \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/n} - 1 \right]$$

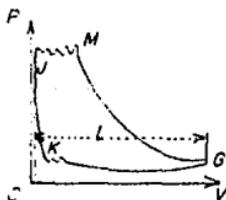


Fig 2.10. Diagrama PV típico de un compresor.

Mucha de la energía usada en la refinación del petróleo y procesos químicos es empleado en los compresores que se encargan de alimentar los reactores, refrigerar o simplemente transportar productos gaseosos. Debido a que la energía usada en la compresión es usualmente de forma mecánica, ésta conservación es de particular valor. Algunos compresores requieren control de flujo, otros control de presión, y la relación entre el flujo y la presión varían de una aplicación a otra.

2.3 REFRIGERACION.

La figura 2.11 muestra esquemáticamente un ciclo simple de refrigeración de compresión de vapor. El refrigerante entra al compresor como un vapor ligeramente sobrecalentado a baja presión. Sale del compresor y entra al condensador como vapor a presión ligeramente elevada; allí se condensa como resultado de la transmisión de calor al agua de enfriamiento o al ambiente exterior.

El refrigerante entonces sale del condensador como líquido a alta presión. La presión del líquido decrece al fluir a través de la válvula de expansión, y como resultado, parte del líquido inmediatamente se vuelve

vapor. El líquido restante, ahora a presión baja, se evapora en el evaporador como resultado de la transmisión del calor del espacio refrigerado. Entonces, éste vapor entra al compresor.

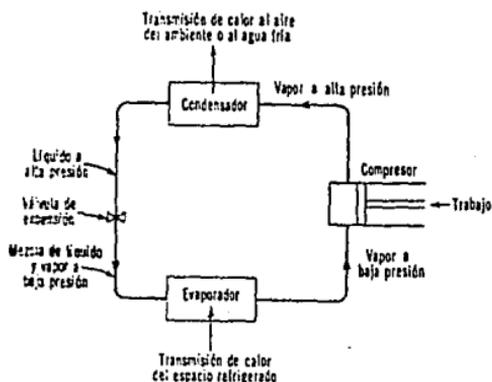


Fig. 2.11 Diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración, los cuales son grandes consumidores de energía, son utilizados en muchas industrias diferentes. Desafortunadamente, sin embargo, la filosofía de los sistemas de control de norma fué desarrollada en una época donde los costos de la energía eran bajos, y consecuentemente el control de la temperatura era obtenido principalmente con técnicas de estrangulamiento que producían gran desperdicio.

En la figura 2.12A se muestra una técnica de control de sistema de refrigeración eficiente respecto a la energía, basada en los objetivos siguientes:

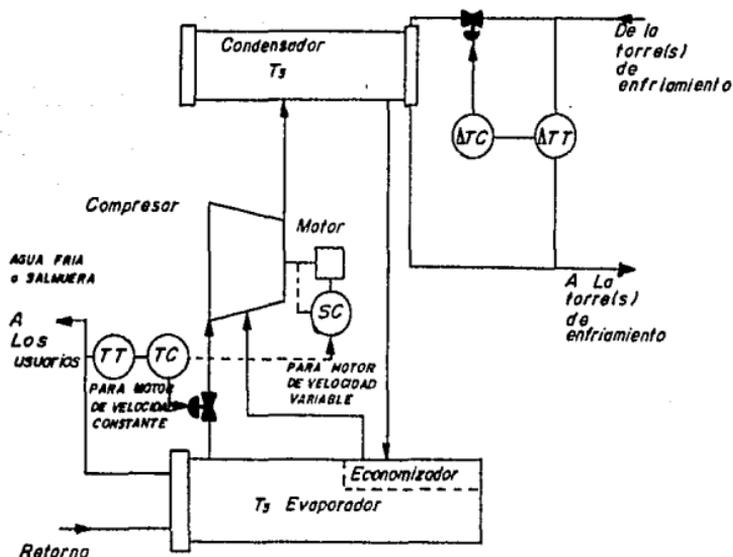


Fig 2.12A. Diagrama esquemático de una técnica de control de un sistema de refrigeración eficiente desde un punto de vista energético.

1. En el enfriador, el área de transferencia de calor debe hacerse máxima de manera que la temperatura de evaporación esté tan cerca como sea posible a la temperatura promedio del agua enfriada en el enfriador.

2. En el compresor, se hace que el flujo del refrigerante iguale a la carga requerida por control de la velocidad del motor más bien que por estrangulamiento. En el caso de motores de velocidad constante, todos los compresores son conducidos a carga máxima (estrangulamiento mínimo) excepto uno, el cual es usado para igualar a la carga requerida por estrangulamiento.

3. En el condensador, se permite que la presión (y por tanto la temperatura) flote con la temperatura del agua de la torre de enfriamiento, mientras que el flujo se hace máximo de acuerdo con un compromiso entre los costos de bombeo y los costos del compresor. Estas condiciones son obtenidas controlando la elevación de la temperatura del agua de enfriamiento al pasar a través del condensador.

Una máquina de refrigeración opera más eficientemente cuando la diferencia entre la temperatura de condensación (T_3) y la temperatura de evaporación (T_1) se hace mínima. Sin embargo, al cambiarse la salida de la máquina y cambiar las condiciones de carga, la diferencia de temperatura ($T_3 - T_1$) debe cambiar. El controlador de ésta diferencia (ΔT) de temperatura permite a éstas temperaturas flotar, mientras deja que la diferencia sea solo tan grande como sea requerido para cumplir con la carga. Observar que bajo condiciones ambientales más favorables (más frescas) cuando la temperatura del agua de la torre de enfriamiento cae, se permite que caiga la presión del condensador. En esencia,

el controlador de diferencia de temperatura hace mínima la suma de los costos de compresión y los de bombeo de la torre de enfriamiento estrangulando el flujo, y por tanto la energía requerida para el bombeo, cuando se reduce la carga o salida en esa máquina. En el diagrama 2.12B se ilustra éste efecto.

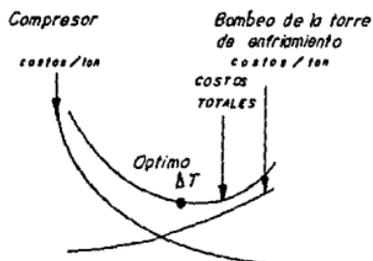


Fig. 2.12B. Grafica que muestra como el flujo del agua de enfriamiento puede ser maximizado, consistentemente con un compromiso entre los costos de compresión y los costos de bombeo.

2.4 EVAPORADORES.

Mucha de la energía es consumida en la industria dedicada a separar y refinar productos a través de transferencia de masa. Estas operaciones involucran cambios en la composición de mezclas, principalmente por difusión más que por procesos mecánicos.

El evaporador consiste en una caldera cilíndrica que contiene un haz de tubos. Una corriente de vapor pasa por la caldera y calienta los tubos por los cuales circula el líquido que se ha de concentrar, ya que su función es evaporar el agua de una sustancia líquida con el fin de concentrarla. El agua que ésta contiene se evapora y pasa a un condensador donde, al licuarse, crea una depresión que hace bajar la temperatura de ebullición del líquido y favorece así su evaporación. Una buena técnica constituye un evaporador de efecto múltiple disponiendo varios evaporadores en serie, cada uno de los cuales es calentado por el vapor producido en el anterior y trabaja con temperatura de ebullición y presión inferiores a las del mismo, fig. 2.13.

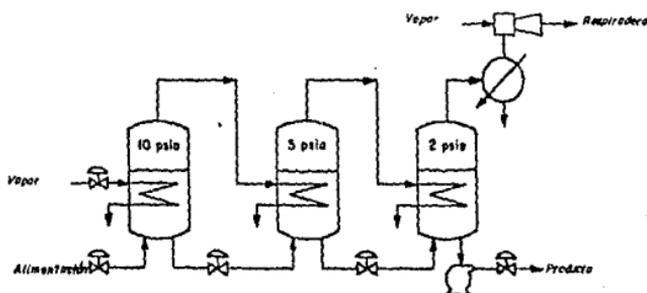


Fig 2.13. Un simple efecto triple de evaporadores con flujo a alimentación.

La aplicación común en la industria evaporada es en la elaboración de leche condensada concentración de azúcar, jarabes, etc., por la variación de composición de las mezclas, varía su viscosidad, para optimizar la

funcionalidad del equipo la alimentación de ésta puede ser en sentido contrario o mixta a través del equipo, como se muestra:

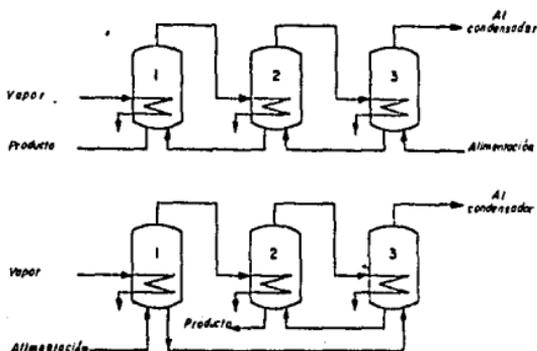


Fig 2.14. Para reducir productos viscosos, éstos pueden ser alimentados en flujos contrarios a los evaporadores (A) o en flujos mixtos (B).

2.5 DESTILACION

La destilación es la separación de los distintos constituyentes de una mezcla líquida mediante evaporación y condensación anterior de los mismos.

Para la destilación se usan columnas de platos que, además de su rendimiento elevado, tienen la ventaja de funcionar continuamente. En éstas columnas los vapores ascendentes se ven obligados a atravesar en forma de burbujas el espesor del líquido que llena los platos. El

contacto íntimo entre el líquido y los vapores provoca la condensación de una parte de éstos que, cayendo de platillo en platillo, volverán a la caldera mientras que los vapores correspondientes a las sustancias más volátiles atravesarán todos los platillos en su movimiento ascendente y se liquidarán en el condensador. En vez de recoger un solo producto en lo alto de la columna se pueden efectuar tomas intermedias a distintas alturas convenientemente calculadas para que en cada una de ellas se recoja una fracción o producto diferente. Esta destilación fraccionada se practica sobre todo en la refinación del petróleo, tal como lo mencioné en el primer capítulo.

Muy comúnmente las columnas de destilación son colocadas en cascada, en donde la energía del primero es empleada en serie con el segundo, como se muestra en la figura 2.15:

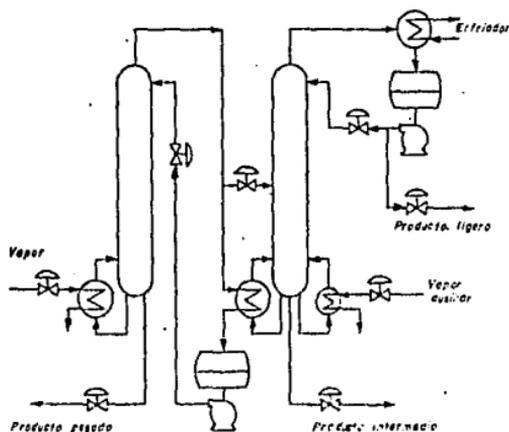


Fig. 2.15. Toda la energía empleada en la primera columna de destilación es aprovechada transfiriéndola a la segunda.

2.6 PROCESOS EXOTERMICOS

Como muchos procesos químicos utilizan el calor de reacción como una fuente de energía calórica para otras porciones del proceso, las mejoras de control pueden a menudo aumentar el rendimiento del producto al tiempo que disminuyen los requisitos de energía. Con la aplicación de modernos controles avanzados, existe un caso real que obtuvo un 4.4 % de aumento en la producción de su planta de amoníaco, sin aumentar la cantidad de alimentación o de combustible.

Para ésta aplicación, son necesarios controles con una buena respuesta dinámica para ofrecer el ajuste automático del régimen de alimentación en el reformador primario.

En el convertidor (fig 2.16), el control de la relación de hidrógeno-nitrógeno es crítica para hacer óptimo el régimen de reacción. El flujo de purga, el cuál desperdicia hidrógeno y nitrógeno, puede reducirse permitiendo que los gases inertes se acumulen hasta la concentración óptima en el circuito de síntesis.

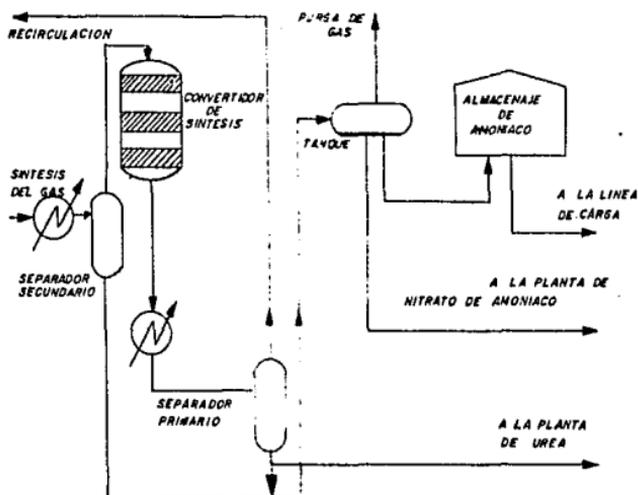


Fig 2.16 Diagrama esquemático clásico del proceso exotérmico del amoníaco.

2.7 SECADO POR ROCIADURA

El secado por rociadura es utilizado en el procesamiento de muchos productos en las industrias de alimentos, químicas y otras. Para ésta aplicación, los expertos en control han desarrollado una técnica de control para ahorro de energía, la cuál comprende control deductivo de la humedad (fig. 2.17).

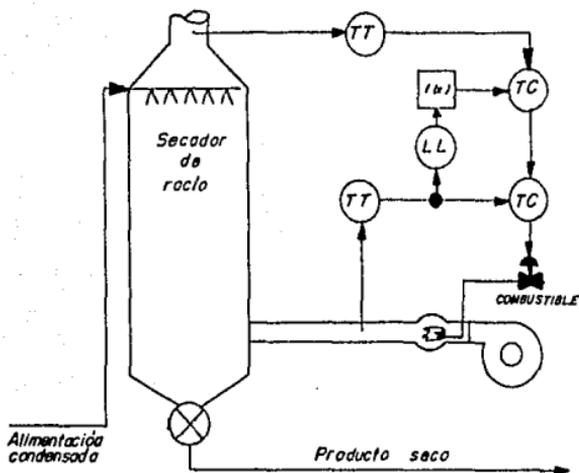


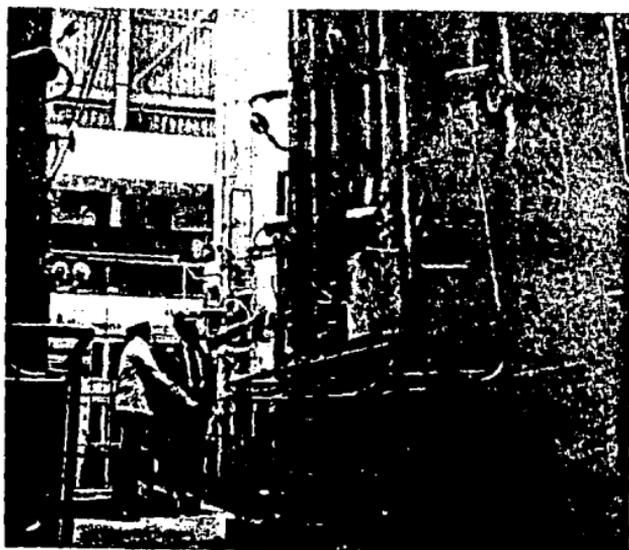
Fig. 2.17. Con un sistema de control secador similar a éste, un procesador de alimentos ha reducido el producto rechazado a menos de 1%, así como el consumo de energía en 11%, obteniendo un retorno de inversión en sólo 13 semanas.

Con éste tipo de control, se permite que varíe la temperatura de salida así como la de entrada de manera de mantener constante la relación de diferencia de temperatura en el extremo de cada secador.

El punto de ajuste de la temperatura de salida es compensado por cambios en las temperaturas de la entrada y del bulbo húmedo.

Como resultado, la variación en la humedad del productos es sustancialmente menor que con un sistema de control convencional, el cual regula la temperatura del aire de salida en un punto de ajuste seleccionado.

Los ahorros económicos obtenibles con el sistema de control compensado incluyen: ausencia de productos chamuscados o rechazados, una reducción en los sólidos regulados en exceso; y una disminución sustancial en los costos de servicio.



**CAPITULO III. AREAS DE APLICACION DE LOS PROGRAMAS
DE OPTIMIZACION DE LA ENERGIA.**

CAPITULO III

**AREAS DE APLICACION DE LOS
PROGRAMAS DE OPTIMIZACION
DE LA ENERGIA.**

" La cosa más importante en la vida no es capitalizar las ventajas. Cualquier tonto puede hacer esto. Lo que verdaderamente importa es beneficiarse con las pérdidas. Esto exige inteligencia y señala la diferencia entre un hombre de juicio y un necio. "

W. B.

Desde que los costos de operación se incrementaron con el aumento del costo de los combustibles, algunas reducciones en el empleo de la energía hubo que realizar enfocando la atención desde luego en el derroche que de la energía se venía haciendo; tales como reducir altas temperaturas en termostatos, reducción en la carga eléctrica, aislando las instalaciones, líneas de vapor y eliminado todo tipo de disparo. Desde entonces los ahorros de energía a la fecha son resultado de corregir el obvio derroche de la misma, donde la oportunidad de disponer del trabajo a otras áreas de impulso.

En la mayoría de las plantas industriales de procesos, todo el flujo de energía es dirigida a través de un área central de servicio. Esta área es el punto para establecer cualquier programa de conservación de energía.

Tres categorías funcionales distinguimos:

1. Conversión de la energía en las diversas formas requeridas.
2. Distribución de la energía disponible.
3. Empleo de la energía disponible.

Una creativa aplicación de la tecnología del control y la instrumentación deben ser implementados para lograr los niveles de ahorro de energía deseados.

Una típica planta de procesos industriales puede ser esquematizada como se muestra en la figura 3.1.

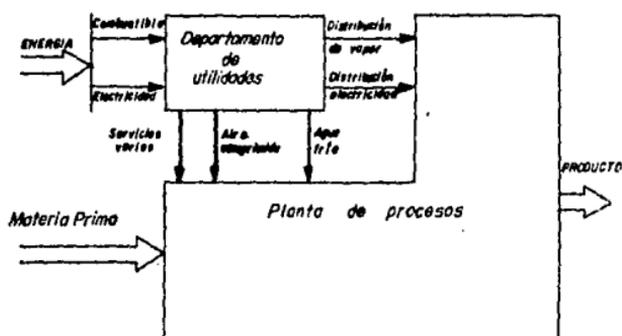


Fig. 3.1 Esquema de una planta industrial.

La planta es designada a procesar materia prima en producto manufacturado incidente al proceso de la manufactura, la energía es empleada en viarias formas. Usualmente la planta es separada y distinta del departamento control de servicios, localizada alrededor de la casa de calderas, algunas veces llamado casa de fuerza. Generalmente es una área especial de la planta donde el combustible en sus diferentes formas es recibido. Después, el combustible es convertido en las diferentes formas que la planta lo demande y toda es distribuida finalmente a los usuarios de la planta.

La figura 3.2 muestra un usual sistema de distribución de vapor:

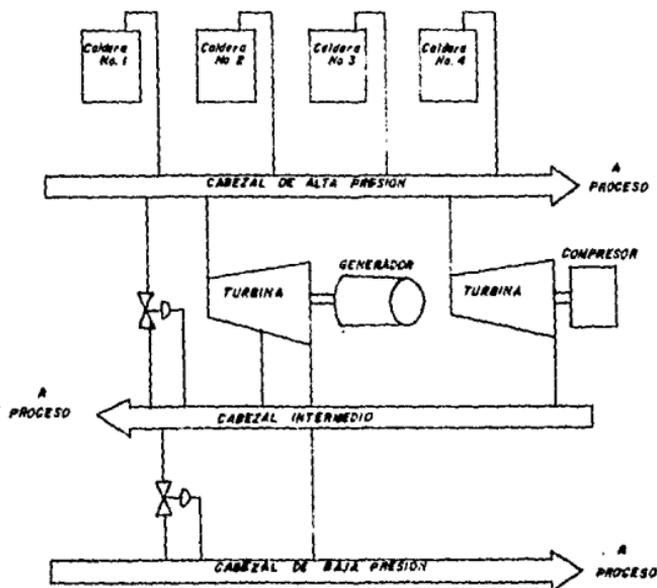


Fig. 3.2 Sistema típico de distribución de vapor.

Un sistema de enfriamiento de agua es mostrado en la fig.3.3.

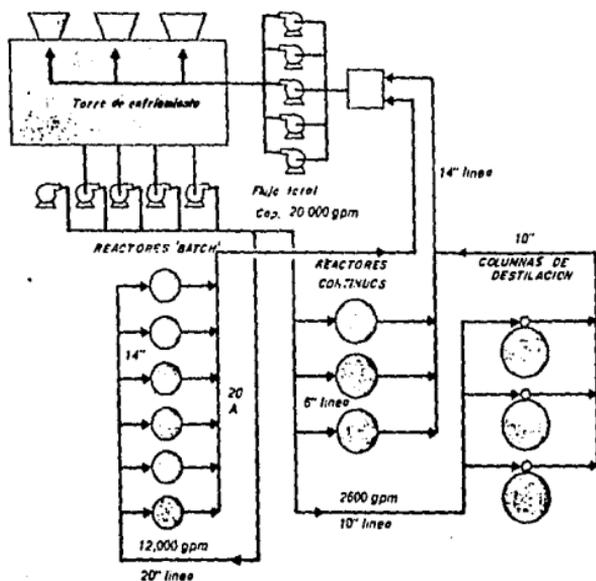


Fig.3.3 Diagrama de un sistema típico de enfriamiento de agua.

Otros tipos de energía son demandados por los procesos en las plantas tales como aire comprimido, refrigeración, etc., cada una de éstas asociado al sistema de distribución.

3.1 CONTABILIDAD DE LA ENERGIA A TRAVES DE COMPUTADORES.

- * Habilidad para cuantificar los flujos de energía y sus costos en toda la planta.
- * Exacta información de los costos para evaluar estrategias adicionales al manejo de la energía.

La contabilidad de la energía es un factor básico en cualquier diseño de un sistema de conservación de la energía, ya que con ésta herramienta el usuario puede cuantificar los flujos de energía y los costos empleados en la casa de fuerza y sistemas principales. Esto crea la información básica para la toma de decisiones en la operación y desarrollo de cada usuario que requiere de la energía. Por una aproximación de la base de costos, el potencial energético en desarrollo puede ser elevado realmente.

Los paquetes de Ingeniería en la contabilidad de la energía proveen automáticos artificios de medición diarios y mensuales para medir arriba de 200 variables.

El usuario, sin conocimiento de un lenguaje programable, puede seleccionar a través del monitor puntos a ver en cualquier página, títulos de páginas y columna de encabezados para cualquier zona del proceso.

Cada parte del paquete registra las funciones mencionadas:

- + Valores instantáneos.
- + Promedios a través de intervalos de tiempo.
- + Valores totalizados.
- + Valores críticos altos en un intervalo de tiempo.
- + Valores críticos bajos a través del tiempo.

Dos características adicionales son incluidas:

- + Reportes al usuario según requiera de áreas específicas, y)
- + Cálculos basados en el historial de datos registrados, que permiten automáticamente desarrollar una mejor aplicación de la termodinámica y bases para un análisis financiero.

3.2 OPTIMIZACION EN LAS CALDERAS.

- A. Evaluación del rendimiento de las calderas.
- a) Eficiencia del equipo (%).
 - b) Desviación de la eficiencia esperada (%).
 - c) Costos de operación (\$/hr).
 - d) Desviación del costo esperado (\$/hr).
 - e) Costo por calderas (\$/454 Kg de vapor).
 - f) Costo de producción vs curva de carga.

El mejor índice del rendimiento de una caldera es su eficiencia. Por lo que los paquetes de ingeniería se enfocan al cálculo de las pérdidas de calor por métodos de entrada/salida a través del equipo. Logrando evaluar de una a ocho calderas de hasta cuatro combustibles, requiriendo mediciones de todas ellas que son colectadas en pocos minutos y dispuestas a cualquier cálculo.

Cada vez que el computador calcula y aplica cualquier corrección al sistema de calderas, los costos son registrados pues éste tiene acceso directo al proceso, de manera que en cualquier situación uno pueda verificar que sucede en el sistema de calderas; ya sea por cada una o como sistema a través de la gráfica costo vs curva de carga.

B. DESPACHO DE CALDERAS.

* La mejor distribución de carga de vapor al más bajo costo, tomando el máximo promedio de las diferencias de eficiencias entre calderas y el relativo precio de los combustibles (cuando éstas son alimentadas por combustibles múltiples).

El despacho de calderas (distribución económica de la carga) proporciona ahorros de combustible en la casa de fuerza cuando múltiples calderas industriales suministran vapor a un cabezal común. En la práctica, normalmente, el vapor requerido por un proceso es considerablemente menor que la capacidad total de la combinación de las calderas en la línea. Objetivo: buscar la distribución de carga entre calderas que resulte en un bajo costo.

El programa de economización de energía para el despacho de calderas utiliza técnicas matemáticas llamadas "optimización por programación no lineal", simplificando tanto que las matemáticas complejas no son requeridas. Esta técnica, y la simplificación son basadas en el principio de igual incremento de costos al equipo en función.

El más bajo costo resulta cuando el incremento de costos es igual, o tan cerrado como la restricción de carga lo permita. Si la carga de la caldera es en exceso restringida no se podrá alcanzar un incremento igual en el equipo, por lo que hay que restringir hasta el punto de

equilibrio para permitir el mejor aprovechamiento de la carga.

Cada casa de fuerza es única. Aun cuando el despacho de calderas es igual, el diseño de cada usuario para el programa de optimizar la energía toma contatilidades individuales, tales como:

- a) Número, tipo y capacidad de las calderas.
- b) Tipo del control de las calderas.
- c) Disponibilidad de los combustibles, etc.

Continuos cálculos de la óptima distribución de carga puede desarrollar significantes ahorros en los costos; mediante ciclos abiertos manuales o por completos ciclos cerrados automáticos que provéan el despacho.

C. OPTIMIZACION DEL DESHOLLINADO.

- * Eliminación de incesario exceso de hollín.
- * Confirmación que cada sección está propiamente limpia.
- * Ahorros energéticos de la reducción de consumo de vapor.

La optimización del deholinado puede reducir la cantidad de vapor consumida por un equipo de recuperación,

manteniendo así los conductos de la caldera limpios de hollín y manteniendo la eficiencia al mismo tiempo, típicamente en muchas calderas industriales, los deshollinadores son operados en una programación regular fija, en una secuencia fija a pesar de la condición antes y después de un deholinado.

El programa de conservación de energía para la optimización del deshollinado divide las calderas en secciones: primaria supercaliente, segunda supercaliente, tubos de caldera, economizadores, etc., tratando cada sección separadamente.

Una serie de limpieza y mantenimiento a cada caldera es aplicada para cada sección por medio de pruebas funcionales. Estas varían de caldera a caldera, o de sección a sección; pero en general incluyen algunos o todos los siguientes aspectos:

- a) Tiempo transcurrido a partir de la última limpieza de cada sección.
- b) Caída en la temperatura del flujo de gas a través de la sección.
- c) Elevación de temperatura del fluido a través de la sección.
- d) Coeficiente de transferencia de calor en la sección.
- e) Caída en la presión del gas a través de la sección.

Si una sección mal logra una prueba, ésta es limpiada. Desde su limpieza es programado su funcionamiento basado en el historial registrado anteriormente y caracterizados sus puntos de ajuste de acuerdo a la carga de las calderas.

3.3 OPTIMIZACION DE LAS TURBINAS.

A. DESARROLLO DE LA EVALUACION DEL PAQUETE PARA TURBINAS DE VAPOR.

- Calda de entalpía de cada sección de turbinas.
- Eficiencias normalizadas a ajustar para condiciones de operación no establecidas.
- Relación de flujo/presión para secciones con medición de presión.
- Comparación de lo computado con lo medido a la salida del generador.
- Eliminación de mantenimiento excesivo.
- Justificación potencial para extender el tiempo entre rehabilitaciones, ("Time between overhauls", TBO).

Este paquete de ingeniería para la conservación de la energía provee desarrollo periódico al análisis de hasta 10 turbinas generadoras. El análisis es desarrollado por una

colocación de programas usuario orientados a preguntas y respuestas, haciéndolo comprensible a supervisores, ingenieros de planta y directores igualmente. Los resultados proveen una herramienta para identificar cuando y donde el desarrollo de la turbina ha sido suficiente para requerir mantenimiento. Esto a menudo justifica largos "TBO", basado en una programación fija de mantenimiento. Resultado: Conmensurados ahorros en mantenimiento, mano de obra, y costos de paro.

La eficiencia de cada sección (exceptuando la sección de condensación) es computada por el método de la caída de entalpía, usando mediciones de presión/temperatura de la admisión y escape de cada sección. La eficiencia de la sección de condensación es determinada por el desarrollo de un completo balance de energía a la entrada de la turbina. Mediciones de estrangulación y extracción de flujo y salida del generador son usados para éste propósito.

Los cálculos de eficiencia son expresados en forma "normalizada". De manera que el computador corrige la eficiencia como medición de operación en condiciones estandar a cualquier desviación. Por lo tanto, el resultado de los datos tomados en diferentes condiciones de operación pueden ser comparados con una base normalizada.

La proporción de flujo en la primera etapa de presión para una determinada sección de turbinas es también calculada para indicar cualquier variación de volumen del flujo. Cambios en ésta proporción son indicadores claves de condiciones tales como exceso de vapor atascado en el recorrido por depósito u obstrucción de boquillas por material perdido.

Comparando los cálculos de la salida del generador con la salida real del generador permite checar aproximaciones de flujo, presión y temperatura en uso.

B. CONTROL DE LA DEMANDA EN ALIMENTADORES ELECTRICOS.

Generalmente la energía disponible por procesos de cogeneración no es suficiente a las plantas de proceso para satisfacer la carga eléctrica total. La mayoría de las plantas compran el servicio de la electricidad para completar su demanda y emplean a éstas como servicio de respaldo en los paros de planta.

Debido a consideraciones tales como disponibilidad de energía hidroeléctrica, y definiendo la proporción de estructuras, el costo varía en las zonas industriales de todo el país. A pesar de esto, generalmente es costado por 2 factores:

1) Carga de energía, medida en el eje x (ctvs/kwh) durante picos altos (Hr) y en el eje y (ctvs/kwh) durante picos bajos (Hr). Esto puede ser más exacto, que el incluir cargos por combustible empleado, etc.,.

2) Carga demandada, medida en el eje z (\$/kw) de demanda, donde la demanda es definida como la carga más alta (kw) impuesta al alimentador.

C) DESPACHO DE TURBINAS.

* Eficiente distribución de la carga de vapor al proceso para optimizar el rendimiento de las turbinas.

El objetivo del despacho de turbinas es maximizar la energía cogenerada y la óptima distribución de carga de vapor al proceso para la mejor eficiencia de las secciones de la turbina en un sistema múltiple de turbinas.

Los sistemas de turbina varían de complejidad, dependiendo del número de turbinas y los tipos de turbinas, tamaños, extracciones, etc., otros factores (constante variación en los procesos demandantes de vapor), contribuyen a la variedad y complejidad de los sistemas.

3.4 OPTIMIZACION EN

CABEZALES DE VAPOR.

A. CONTROL DE PRESION EN CABEZALES.

- Vapor de baja presión de la turbina de baja, puede maximizar la cogeneración.

- Implementando el control se reduce el mantenimiento y se prevé el sobre-extranguamiento de las valvulas de control.

- Niveló la carga de las calderas incrementando dinámicamente la eficiencia del sistema.

Los cabezales de vapor son actualmente capacitores de baja capacidad de energía distribuida a través de la planta, constantemente entran y salen flujos de diferentes proporciones y en diferentes destinos.

En la mayoría de las plantas, los cabezales de presión fueron probablemente asignados tempranamente durante los pasos de diseño de la planta y nunca cambiados.

En cualquier punto dado en un tiempo, la presión asignada a un cabezal en particular puede ser baja para una ó varios usuarios, ó más alta que la necesaria para todos

los usuarios. En esta situación, si el cabezal es mantenido rígidamente a la presión de diseño, las válvulas suministradoras de cabezal estarán sobre-extranguadas, reduciendo la presión sin obtener trabajo alguno.

El programa de conservación de energía para optimización de cabezales, es una técnica de continuo monitoreo a la posición óptima de las válvulas; ya que se debe suministrar al usuario más crítico el valor más alto en el selector. La posición de la válvula más abierta es mantenida del 90 al 95% abierta por pérdidas lentas en el cabezal de presión durante demandas pequeñas, elevando la presión en el cabezal durante demandas fuertes. A la presión en el cabezal se le permite flotar manteniendo la presión en el mínimo nivel que satisface al usuario.

3.5 COGENERACION.

Cogeneración: Producción simultánea de vapor y electricidad.

El diagrama 3.4 muestra una configuración típica que involucra 2 turbinas de gas y 2 unidades recalentadoras.

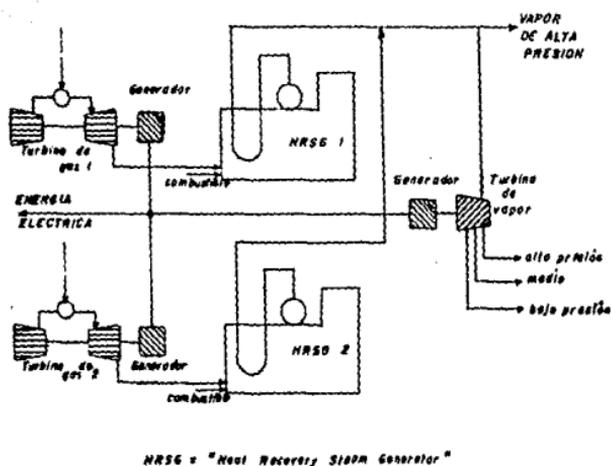


Fig. 3.4. Arreglo típico de un sistema de cogeneración.

Los controles propios de la cogeneración fueron ya expuestos, tales son:

- a) Control de la carga central.
- b) Control de las turbinas de gas.
- c) Control de la demanda en alimentadores eléctricos.
- d) Despliegue de operaciones.
- e) Desarrollo de análisis.
- f) Retroalimentación.

3.6 DATOS DE EFICIENCIA EN EL MANEJO DE CALDERAS.

A) OPTIMIZACION DEL EXCESO DE AIRE.

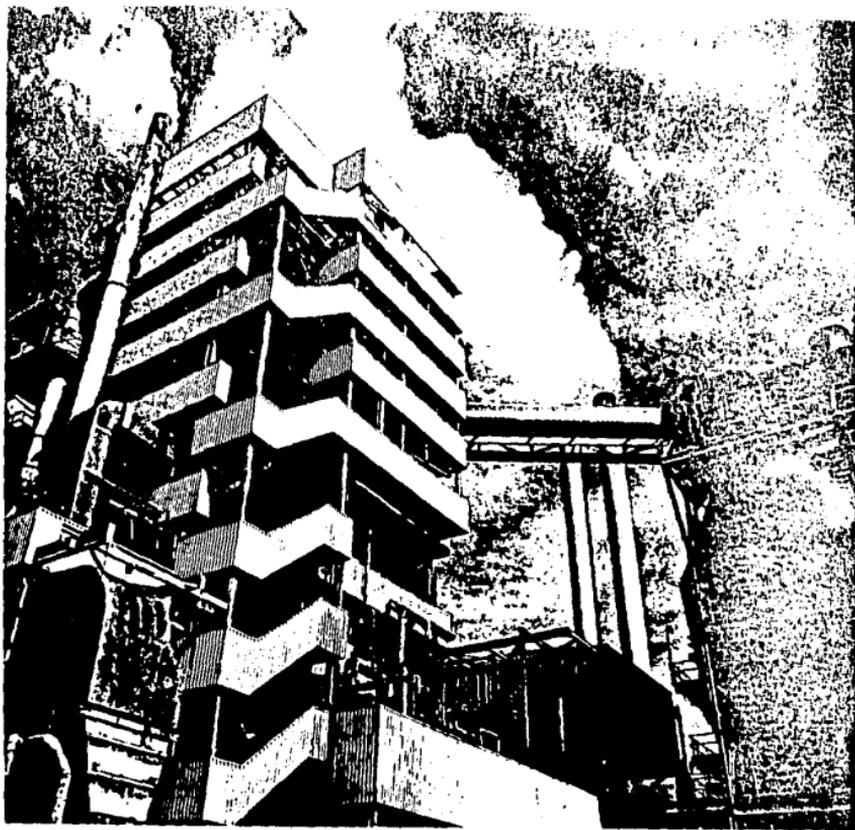
Por medio de una medición adecuada y un análisis en línea de los humos en chimenea, se puede lograr fácilmente una mejora en la eficiencia estática de la caldera de 1 a 3%.

Una estimación conservativa del ahorro potencial se puede hacer asumiendo que: 1% de reducción del % de oxígeno resulta en 5% de reducción de exceso de aire y se puede ahorrar un 0.5%. Un análisis termodinámico más riguroso basado en combustibles específicos y en condiciones operativas, frecuentemente duplica los ahorros calculados por una suposición simple. Las reducciones típicas de O₂ pueden ir hasta 4% total de O₂ (2-3 % posible).

DATOS REQUERIDOS PARA OPTIMIZAR

EL MANEJO DE LAS CALDERAS.

- * %Exceso de aire promedio u O₂ medido por prueba estática.
- * Dato recomendado del fabricante del exceso de aire u O₂ recomendado.
- * Mínimo exceso de O₂ obtenible.
- * Temperatura ambiente anual promedio.
- * Costo total del combustible en \$/Kcal.
- * Vapor total producido ó promedio en el período típico (promedio de verano e invierno en miles de kilogramo/hora).
- * Eficiencia operativa de la caldera aproximada que es comunmente aceptada.
- * Entalpia del vapor producido mas la presión y temperatura del agua de alimentación .
- * Poder calorífico del combustible empleado.



CAPITULO IV. LA INDUSTRIA PAPELERA, LA APLICACION

MAS COMPLEJA DE LA ENERGIA

CAPITULO IV

LA INDUSTRIA PAPELERA, LA APLICACION MAS COMPLEJA DE LA ENERGIA

"Aquellos que llamaran antiguos
a éstos tiempos."

La historia de como Productos San Cristobal llevo a cabo optimos ahorros de energia. Alrededor de \$ 1 000 000.00 dolares ahorrados anualmente en costos de energia.

4.1 PRODUCTOS SAN CRISTOBAL, OPERACION EN SU PLANTA DE FUERZA.

Dificilmente se pueden encontrar operaciones más complejas que las que se encuentran en Productos San Cristobal ubicada en San Juan del Río, Qro.. Compañía procesadora de 900 toneladas por día de pulpa y papel que cuenta con 3 calderas de recuperación con capacidades de 90 700, 45 350 y 22 675 Kg/hr de vapor; calentadas con licor negro y/o combustible como auxiliar. También cuentan

con 2 calderas de fuerza con capacidad de 72 560 Kg/hr de vapor. Unidas éstas 5 calderas dan servicio a la generación de electricidad a través de la alimentación a turbinas cogeneradas y además a todas las operaciones de la pulpa y el papel.

La fuerza eléctrica para ésta planta, fig.4.1, es suministrada a través de 4 turbogeneradores, y un alimentador de la línea eléctrica suministrada de una casa de fuerza del estado. Los turbogeneradores, las calderas, los cabezales de vapor, servicios auxiliares y 5 estaciones reductoras de presión, suministran varios flujos de los recursos energéticos que mantienen la carga del proceso.

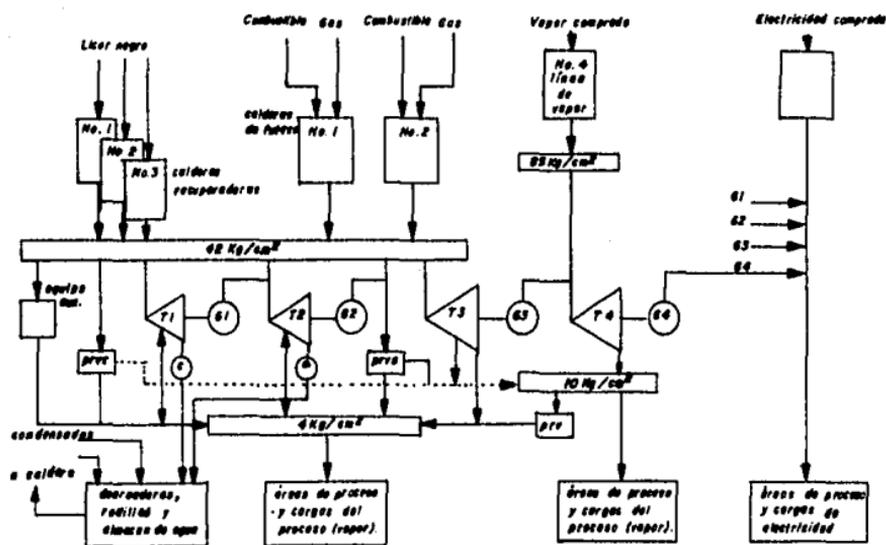


Fig. 4.1. Sistema de la casa de fuerza.

Para resolver el problema tan complejo que involucraba el problema de administrar la energía óptimamente, en donde se queman diferentes combustibles y se emplean diferentes recursos energéticos, es necesario equilibrar el costo de combustible en la generación de energía y el costo por día al comprar éste servicio, de manera que Productos San Cristobal resolvió instalar una computadora propia al manejo de la energía.

Con la incorporación de dicha computadora y 140 transmisores montados en campo, el sistema fué capaz de:

A. Reducir el costo de la combinación compra de electricidad-generación propia, la energía generada en la planta, compra de combustibles, y vapor; pero sobre todo los costos de operación bajaron tanto que con éstos niveles de energía fué suficiente cubrir la demanda de los procesos.

B. Midió y calculó los costos de generar y comprar la energía dando así una base lógica para la toma de decisiones, además de despachar automáticamente los turbogeneradores.

C. Facilitó la operación de la planta al personal y ayudo a la comprensión de la misma, de manera de usar la planta y su equipo propiamente (como es debido), y al mismo tiempo provió un sistema de seguridad dando alternativas a las situaciones de emergencia.

D. Rastreo la máxima utilidad de la compra de energía extra bajo programa para los picos mensuales y picos de las demandas parciales, controlando el rendimiento de los turbogeneradores.

E. Atendió el despacho de las cargas de electricidad entre los 4 turbogeneradores para obtener el más bajo funcionamiento que cubriera dicha demanda y el vapor requerido para las operaciones de proceso.

F. Obtuvo los datos diarios y mensuales a la fecha en reportes sencillos, creando un historial del funcionamiento de la planta.

En adición a éstos beneficios, la computadora basada en el sistema de la conservación de la energía ha dado a Productos San Cristobal crecientes ahorros que se aproximan a \$ 1 000 000 dólares anuales. A continuación, como fueron llevadas a cabo dichas ganancias:

1. Las reducciones iniciales en las cargas eléctricas y pérdidas de calor por tonelada de producción en las áreas de proceso, fueron obtenidas por el análisis de cómo el proceso requiere de dicha energía, tomando así, acciones correctivas para eliminar el derroche. Este análisis y sus cálculos (balance de energía) producen ahorros anuales de \$ 150 000 dólares.

2. La adición de los 100 nuevos detectores de campo dieron resultados a no más de un minuto de operación, recabando datos de los flujos de energía en la casa de fuerza y en las áreas de proceso. Cálculos sobre esta información dió la guía al operador de la planta para el despacho de turbogeneradores y calderas. Los ahorros anuales de esta operación han excedido \$ 200 000 dólares.

3. En lazos cerrados de control para el combustible comprado, el despacho automático de turbogeneradores dispuso el costo mínimo del balance entre el combustible comprado, vapor comprado, energía comprada, y la energía generada. Al mismo tiempo que la computadora continuamente chequea el funcionamiento del equipo en contra de restricciones para mantenerlas dentro de los límites de operación. Este programa de control indirecto del vapor comprado vs vapor producido es enfocado a mantener la compra de energía en los más bajos niveles de acuerdo a los objetivos fijados.

Los ahorros realizados a través de este control automático de programas bajo condiciones de carga dinámica, exceden \$ 550 000 dólares por año.

4.2 PLAN DE ACCION EN DOS FASES: CLAVE DE LA PROSPERA IMPLEMENTACION

El sistema de conservación de la energía en la papelera San Cristobal, es un excelente ejemplo de como un sistema puede ser diseñado para futuros crecimientos. Bajo la dirección de Dich Bradford, ingeniero eléctrico con excelentes conocimientos de la operación de casas de fuerza, conservación de energía, y control por computadora, el proyecto fué implementado en 2 fases:

La fase 1 involucró la instalación de 40 transmisores de campo, los cuales provieron las mediciones en las líneas principales de los flujos de vapor de las calderas, retorno de condensados, utilización de vapor, kilowatts requeridos, empleo de la electricidad, y otros flujos de energía.

En realidad, el sistema implementado en ésta fase fué un sistema de contabilización de la energía en uso que monitoreó los flujos de la energía a través de todo el

proceso del papel. Con ésto, fueron detectados los picos y los valles en la demanda de energía, proviendo cálculos capaces de reducir el vapor empleado por tonelada de papel producido; clave para seguir a implementar la fase II.

La fase II involucró extensos sistemas del óptimo manejo de la energía industrial, los cuales en adición al sistema de contabilización de la energía en uso, incluyó programas referentes al despacho de calderas, cálculos de eficiencia en calderas, despacho de turbinas, balance del cabezal de vapor, control del alimentador eléctrico para cogeneración y monitoreo de las cargas de vapor y electricidad, fig.4.2. La operación de éstos se basó en la instalación de otros 100 transmisores montados en campo que proporcionan información extra de las mediciones de energía y las salidas energéticas de los procesos a la computadora, dando así una gran capacidad a Prpductos San Cristobal de realizar muchas estrategias en la conservación de energía.

FASE I. CONTABILIDAD DE LA ENERGIA EMPLEADA.

El sistema de contabilidad de la energía en uso vapor-electricidad monitorea e integra los consumos de vapor y electricidad por cada unidad del proceso, dando así las cargas en todo instante en las diferentes áreas del proceso. Por lo que se pueden asignar factores de costo a cada unidad del proceso.

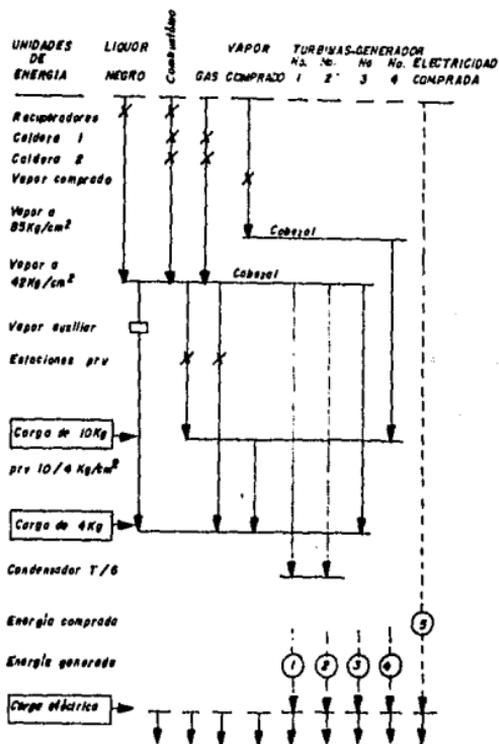


Fig.4.2. Ruta de los flujos de energía para el licor negro, combustóleo, gas, vapor y electricidad compradas. Proviendo una base lógica para determinar el óptimo consumo.

La computadora provee a los usuarios de información recabada de los procesos a cada instante, mostrando los siguientes datos:

A. Por jornada, diario y del mes a la fecha, reportes sobre:

- * Vapor Total producido por caldera.
- * Electricidad total producida por turbogenerador.
- * Promedio máximo y mínimo del vapor y electricidad producida en cada caldera y turbogenerador.
- * Vapor usado por áreas en la planta: incluye la casa de fuerza, máquinas procesadoras de papel, digestores, planta blanqueadora, calera y otras unidades de proceso.
- * Promedio máximo y mínimo del vapor empleado por cada área del proceso.

B. Reportes sobre valores de mediciones individuales de vapor y electricidad.

C. Despliegue de gráficas con el registro de los promedios de los últimos cimientos de cualquier variable asignada.

FASE II. OPTIMIZACION DEL VAPOR Y LA ELECTRICIDAD.

VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA OPERACION DE LA CALDERA.

Antes de que Productos San Cristóbal pudiera trabajar con el programa de conservación de energía para la distribución de carga en calderas, hubo necesidad de

alimentar la computadora con mediciones clave, tales como la salida de combustibles, temperatura del agua de alimentación y su flujo, la temperatura y el flujo del vapor. Con éstos y otras mediciones que continuamente son registradas por el computador, se establecen los valores máximo, mínimo y promedio.

La computadora toma los valores promedio y calcula el combustible usado en Kcal, Kcal de calor obtenido por la generación de vapor, la conversión termal de las calderas de acuerdo a su eficiencia basada en datos sobre la marcha, tiempo real. Además, éstos datos son reportados en base continua para la evaluación y la toma de decisiones.

Además, los índices en las calderas y su eficiencia varían con el porcentaje de carga demandada y sus capacidades, así como la magnitud y la frecuencia máxima de carga, por tanto la computadora calcula en intervalos frecuentes los valores promedios para reflejar las condiciones de carga dinámica. Los valores obtenidos son promediados y reportados.

DISTRIBUCION DE CARGA EN LAS CALDERAS.

Las 3 calderas de recuperación en Productos San Cristobal disponen para quemar el licor negro y combustibles auxiliares. Las 2 calderas de fuerza pueden quemar combustible o gas de acuerdo a la disponibilidad y costo de éstos, y su rendimiento en las calderas.

Con la disponibilidad de comprar vapor de una compañía cercana del estado, la computadora compara el costo de éste vs la generación de vapor con el propio equipo cuando la toma de decisiones concierne a la distribución de la carga de vapor y el despacho de turbogeneradores. Por medio de una efectiva distribución de carga en las calderas, Productos San Cristobal ha minimizado los costos de la energía en los procesos del papel que demandan vapor.

DESPACHO DE TURBOGENERADORES.

Basados en la flexibilidad del paquete lógico de programación secuenciable para proveer una estrategia de óptimo despacho de turbogeneradores, se cubren tres características importantes:

1. Control de alimentador eléctrico.
2. Distribución económica de la carga a turbogeneradores.
3. Balance del vapor comprado vs generado.

Esta aplicación del 'software' permite la operación en dos modos: control automático computarizado y operación manual.

El modo automático despacha los turbogeneradores a través de respectivos gobernadores de carga-velocidad.

FORMULAS DEL COSTO POR TURBOGENERADOR.

La carga eléctrica en la turbina-generador No.4, está dada por:

$$G4 = (TF - 37.5)/17.5 \text{ Expresado en megawatts, donde:}$$

TF = restricción del flujo de vapor.

El costo de la generación de electricidad en la unidad No. 4 (la cual descarga el vapor a cabezal de 10 Kg/cm²) es:

$$G4\$ = (TF \text{ a la entrada} - EXH \text{ a la salida}) \times \$/\text{MBTU}$$

El costo del vapor de 10 Kg/cm² cedido al proceso por la unidad No. 4 es:

$$T4E = (EXH \text{ salida} - \text{retorno de condensador}) \times \$/\text{MBTU}$$

Ecuaciones similares son empleadas para calcular la carga eléctrica de las unidades 3, 2 y 1, tales como:

$$G3 = [(TF-20-EXT)/20.0] + (EXT/33.3)$$

$$G2 = [(TF-9.0-EXT)/8.5] + (EXT/21.0) + (ADMIS/14.3)$$

$$G1 = [(TF-9.0-EXT)/8.5] + (EXT/21.0) + (ADMIS/14.3)$$

Donde: EXT = Extracción del flujo de vapor.

ADMIS = Presión de admisión a las turbinas 1 y
2 para alimentar el cabezal de 4 kg/cm²

Para calcular el costo de la electricidad generada en la turbina-generador 3, 2 y 1, el valor del calor agregado a cada caldera es necesario, como sigue:

$$\$PB1 = \text{Kcal oil} + \$/\text{Kcal} + \text{Kcal gas} \times \$/\text{Kcal}$$

$$\$PB2 = \text{Kcal oil} + \$/\text{Kcal} + \text{Kcal gas} \times \$/\text{Kcal}$$

$$\$PB3 = \text{Kcal licor negro} \times \$/\text{Kcal} + \text{Kcal oil} \times \$/\text{Kcal}$$

$$\$RB2 = \text{Kcal licor negro} \times \$/\text{Kcal}$$

$$\$RB1 = \text{Kcal licor negro} \times \$/\text{Kcal}$$

Donde: PB = Caldera de fuerza.
RB = Caldera de recuperación

4.3 DISTRIBUCION ECONOMICA DE LA CARGA

El objetivo del despacho de un turbogenerador es economizar la carga y la extracción de flujos para obtener la máxima eficiencia del turbogenerador.

El rendimiento de cada uno de los cuatro turbogeneradores en Productos San Cristobal es directamente afectada por la calidad del vapor suministrada a las unidades, así como las cargas que varían de acuerdo al área del proceso de 10 a 4 Kg/cm².

La carga eléctrica para cada turbogenerador es determinado en la base del costo por kilowatt de electricidad producida por éstos. Productos San Cristobal realiza la operación del despacho de acuerdo a la distribución económica de la carga y la más eficiente extracción de los flujos de vapor.

La proporción del calor de la turbina (Kcal/kwh) y el costo del vapor de salida es usado para determinar que turbogenerador será despachado, con el objetivo de maximizar la fuerza cogenerada mientras se minimiza la carga de los alimentadores y los costos por la compra de energía.

4.4 CONTROL DE ALIMENTADORES

Los requerimientos del control de alimentadores eléctricos son determinados por la mayor parte de las demandas ocasionales y el contrato de consumo diario suministrada por una vecina compañía de servicios.

Una vez que el nivel de demanda y la compra de energía son estabilizados, la computadora mantiene las posibles demandas. Si el proveer menor energía comprada permite un ahorro sin cambiar las condiciones de proceso, la carga en las calderas es aumentada y restringida la alimentación de compra.

El objetivo de la estrategia de control en Productos San Cristobal, es monitorear la demanda de los alimentadores (basada en un promedio de cada 30 minutos) con límites asignados durante picos y períodos de picos parciales.

Los ingenieros de control tienen la opción de seleccionar los límites de demanda que manejará la computadora según los objetivos planeados. Si la demanda al alimentador es próxima al límite, la computadora incrementa la carga eléctrica en el turbogenerador más eficiente, y al mismo tiempo notifica al operador que la demanda planeada está en riesgo de sobrepasarse. Con ésta estrategia de control, la compañía es capaz de maximizar el uso de sus alimentadores mientras que mantiene las cargas de demanda tan bajo como es posible, fig.4.3.

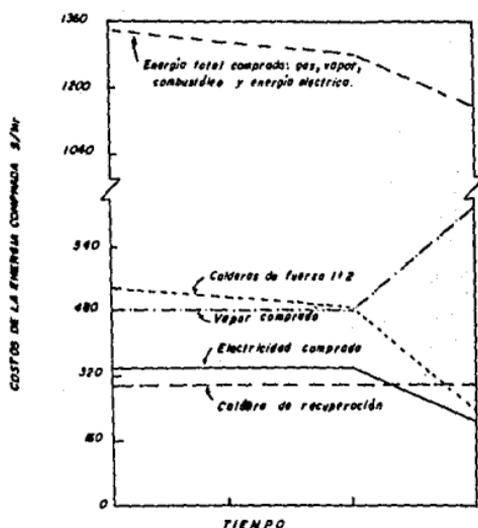


Fig. 4.3. Como los costos de la energía comparada pueden ser cambiados sobre las fases de implementación de un sistema de conservación de la energía.

Estas curvas son características para estados constantes; que en el despacho de cargas en condiciones dinámicas permiten el máximo ahorro.

4.5 BALANCE DEL CABEZAL DE VAPOR

Durante el transitorio causado por las variaciones en la demanda de vapor por el proceso, Productos San Cristobal puede distribuir el impacto entre los cabezales de 42 y 85 Kg/cm² repartiendo las oscilaciones de la carga entre ambos sistemas de cabezales. Los beneficios significativos de ésta estrategia de control son:

1. Reducciones sustanciales del flujo de vapor que desperdicia energía a través de las estaciones reductoras de presión de acción rápida.
2. Un incremento en la cantidad de electricidad propia generada con la obvia reducción de los costos de electricidad comprada, fig. 4.4.

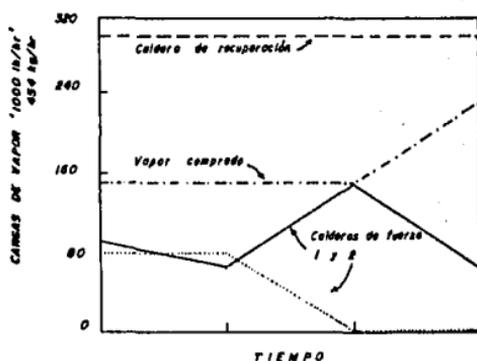


Fig 4.4 El consumo de vapor comprado puede ser minimizado durante la implementación del sistema, mientras la caldera No.1 es designada a alcanzar la máxima eficiencia, la caldera No.2 pudo reducir sus condiciones de carga.

Las operaciones involucradas en la papelera San Cristobal tienen varios recursos como hasta ahora se a expuesto. La generación de vapor se logra a través de 3 calderas recuperadoras que funcionan con licor negro y un combustible auxiliar; además de dos calderas de fuerza que queman gas ó combustóleo. Estas calderas suministran vapor hasta 42 Kg/cm² para la generación de la electricidad y para uso en las áreas del proceso. En adición, es comprado

vapor a 85 Kg/cm² de la central de servicios cercana a la planta, que es empleada para la generación de energía, según las demandas.

Debido a las complejas interacciones de la generación de vapor y electricidad, para satisfacer las demandas de la planta al más bajo costo, Productos San Cristobal reconoce la necesidad imperante de una computadora industrial que aplique el sistema de conservación de energía, para la medición y el cálculo de los costos de generar y comprar energía (vapor ó electricidad), además de ser una útil herramienta para el operador y directores en la toma de decisiones.

PUNTO DE PARTIDA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANALISIS ECONOMICO.

Hasta aquí, presenté diversos métodos para la optimización de la energía y su control en diversas áreas de procesos; Debido a la complejidad de los cálculos que éstos implican, además de que cada sistema es diferente y se ha de analizar en particular, no los consideré como finalidad del presente trabajo. Sin embargo, parte importante de la optimización del uso de la energía, es decidir el mejor método de producción, como es éste caso de Productos San Cristóbal, que además de emplear diversas técnicas de control óptimo, decidió en base al siguiente análisis económico, la opción más rentable de producción.

4.7 ANALISIS ECONOMICO

Antes de realizar el análisis económico del sistema es conveniente hablar de las ventajas que representa fabricar papel por medio del proceso semiquímico-térmico utilizando como materia prima el bagazo de caña.

A. BREVE DESCRIPCION Y COMPARACION ENTRE EL PROCESO SEMIQUIMICO - TERMICO Y EL PROCESO CONVENCIONAL DE MADERA.

El bagazo, residuo fibroso de la industria del azúcar de caña, se utiliza hoy en la mayoría de los casos como combustible, que es el uso económicamente más bajo comparado con los productos que de éste se pueden obtener; pero siguiendo con la premisa básica de optimizar el uso de los recursos disponibles, se le ha querido dar al bagazo de caña otros usos, de los cuales, se podrían mencionar algunos como la producción de tablas ('hard board'), producción de aglomerados ('particle board'), producción de pulpas para papeles finos, entre otros.

NOTA: De la pulpa utilizada en México para la producción de papel, aproximadamente un 40% es producida a partir de bagazo. Este porcentaje se deberá incrementar en los años venideros pues existen más proyectos de plantas productoras de pulpa a partir de bagazo que a partir de madera.

Hoy en día la industria de la celulosa y el papel ha experimentado con ésta materia prima para darle un uso más favorable que permita optimizar la disponibilidad de la misma, y al mismo tiempo, permitir que a la madera se le den otras aplicaciones, ya que es un recurso no renovable muy valioso.

Como resultado de muchos experimentos se ha llegado a perfeccionar el proceso semi-químico-térmico, que le da a la pulpa de bagazo ciertas características que la hace competitiva con las pulpas obtenidas a partir de la madera. Dentro de éstas características se podrían citar las siguientes: resistencia mecánica (resistencia a la tensión de 3.6 Kg), grado de blancura de 52 a 55° GE, grado de cocimiento de 20 (medido por el número de permanganato), y ya en el papel resistencia al rasgado adecuado para altas velocidades en máquinas de papel y rotativas.

Este proceso consiste en darle a la fibra del bagazo una serie de pretratamientos antes del pulpeo y un tratamiento con sosa cáustica y vapor ya en el pulpeo, pero a través de un paso llamado impregnación.

Los pretratamientos consisten en eliminar del bagazo todos los pequeños haces fibrosos comúnmente llamados módulo o parenquima, pues éstos tejidos son dañados por la acción del trapiche y resultan extremadamente reactivos consumiendo cualquier compuesto químico que se use para la operación de pulpeo. Esta eliminación de pequeños haces

fibrosos se logra por medio de la operación llamada desmedulado, que consiste en hacer pasar al bagazo por unos molinos constituidos de tambores verticales sobre los cuales van montados una serie de martillos que golpean al bagazo contra una platina perforada que los envuelve, esto ocasiona el desprendimiento de la médula y descarga al bagazo por la parte inferior de los tambores ya con fibra resistente y de un tamaño adecuado. El rendimiento de ésta operación es de un 60 a un 70%, dependiendo del tipo de bagazo.

Una vez desmedulado el bagazo se pasa a la operación llamada impregnación, cuya función es la de eliminar a los elementos de liga entre las fibras del bagazo llamados ligninas (aún cuando no se conoce a ciencia cierta su estructura química, se considera a la lignina como una resina de alto peso molecular). La impregnación consiste en adicionar en proporción de un 8 a un 9% en base a la cantidad de bagazo alimentado al sistema, una solución de sosa cáustica calentada a aproximadamente a 95 °C, la cuál puede alcanzar esa temperatura por medio de adición directa de vapor en un mezclador donde se puede alimentar el bagazo, la sosa y el vapor simultáneamente, o por medio indirecto a través de un transmisor de calor. El concepto básico de ésta operación es el siguiente:

En el proceso convencional de pulpeo de madera, la solución de sosa se añade simultáneamente con la madera en

los tubos cocedores, en estas condiciones, la solución es absorbida rápidamente por los tejidos más porosos, reaccionando con éstos, debido a la alta temperatura, antes de que los elementos celulares más compactos puedan permearse, lo que da como resultado un mayor consumo de químicos, con la siguiente disminución de rendimiento (menor producción de pulpa y aumento en el costo).

En el proceso somiquímico-térmico la solución de sosa se añade al bagazo antes de los tubos cocedores, aprovechando con esto la ventaja intrínseca del bagazo, ya que su contenido de lignina en comparación con la madera es menor.

Todo esto se realiza en una operación cuidadosamente controlada, en otras palabras, se hace una dispersión química por medio de una impregnación a baja consistencia* (5 a 6%) y a una temperatura de 85 °C, que permite que todos los tejidos absorban la solución de sosa, dejando retenida la fibra dentro de la solución en estas condiciones por un tiempo de 30 a 45 minutos en torres especiales a fin de asegurar una adecuada difusión, dentro de los tejidos más difíciles de permear.

Una vez logrado esto, se prensa la fibra para extraer al licor excedente retenido en los poros y cavidades de los tejidos más abiertos, evitando así daños excesivos a los

mismos y consumo innecesario de producto químico, lo cual merma el rendimiento de pulpa.

Después del paso de impregnación el proceso sigue los mismos pasos que para un proceso convencional de madera.

Estos pasos son los siguientes:

- A. Cocimiento: En el que se completa el cocimiento de la lignina.
- B. Lavado: En el que se separa la fibra de celulosa del llamado licor negro. (El licor negro se concentra y se quema su materia orgánica (lignina) recuperandose las sales.

* CONSISTENCIA es la cantidad de fibra seca contenida en el total de una suspensión y se mide por:

$$\% \text{ Consistencia} = \frac{\text{Cantidad fibra seca en Kg}}{\text{Suspensión total en Kg}}$$

Inorgánicas (carbonato de sodio) el cual, es transformado en sosa cáustica en el proceso de caustificación y reutilizado para el cocimiento del bagazo).

- C. Depuración: Para separar partes no cocidas del bagazo y que son de dimensiones inadecuadas para la fabricación de papel.
- D. Blanqueo: Para eliminar la lignina residual de acuerdo al grado de blancura que se requiere.

B. ANALISIS DE INVERSION EN PLANTAS PARA LOS DOS PROCESOS.

Teniendo en cuenta la descripción anterior, se podrían establecer algunas ventajas que presenta utilizar éste proceso en comparación con un proceso convencional para pulpear madera, considerando que para la inversión de proyectos de celulosa y papel los parámetros más importantes son:

- * Capacidad de la planta.
- * Materia prima.
- * Procesos de fabricación.
- * Producto final.

* CAPACIDAD DE LA PLANTA.

Se establece la capacidad de la planta de acuerdo a la rentabilidad de la misma, la cuál se puede determinar por medio de:

$$\text{RENTABILIDAD} = \frac{\text{UTILIDAD NETA}}{\text{INVERSION FIJA} + \text{CAPITAL DE TRABAJO}}$$

la cuál debe dar un valor mayor que cualquier tasa bancaria de interés actual ó futura.

Analizando brevemente los conceptos involucrados en la fórmula:

UTILIDAD NETA. En la utilidad neta, intervienen factores como precio de venta, materia prima, mano de obra, amortización de equipos, depreciación, mantenimiento, impuestos, etc. Se pueden preveer que factores como materia prima, mano de obra e impuestos favorecen al proceso semiquímico-térmico, pues se utiliza bagazo de caña que es más accesible que la madora, estimando que los demás factores permanecen en promedio iguales para ambos casos.

INVERSION FIJA. Según la memoria estadística de 1986 de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel, para producir 900 toneladas métricas al 8% de humedad de papel por día considerando como materia prima al bagazo de caña, se requiere de 295 000 000 USD como inversión fija, y para producir la misma cantidad de papel considerando como materia prima madora, se requiere de 462 000 000 USD como inversión fija; lo que representa una gran ventaja en favor del proceso semiquímico-térmico.

NOTA. Tabulado en dólares debido al alto % de inflación de nuestra moneda.

CAPITAL DE TRABAJO. Este concepto se aclarará al analizar los procesos.

Según los factores analizados se puede concluir que el proceso semiquímico-térmico, puede tener una rentabilidad mayor que el proceso convencional para una misma capacidad de producción de la planta.

* MATERIA PRIMA.

El bagazo de caña presenta la particularidad de ser obtenido de una planta cíclica con periodos de renovación cortos, y de tener un costo de obtención más bajo que la madera; además de ser un co-producto de la fabricación de un alimento básico y tener inmediata disponibilidad en el país. Fig. 4.5.

En el caso de la madera sucede exactamente lo contrario, debido a las limitaciones del abastecimiento de madera, acoplada al aumento de la demanda de la misma y del costo de la energía.

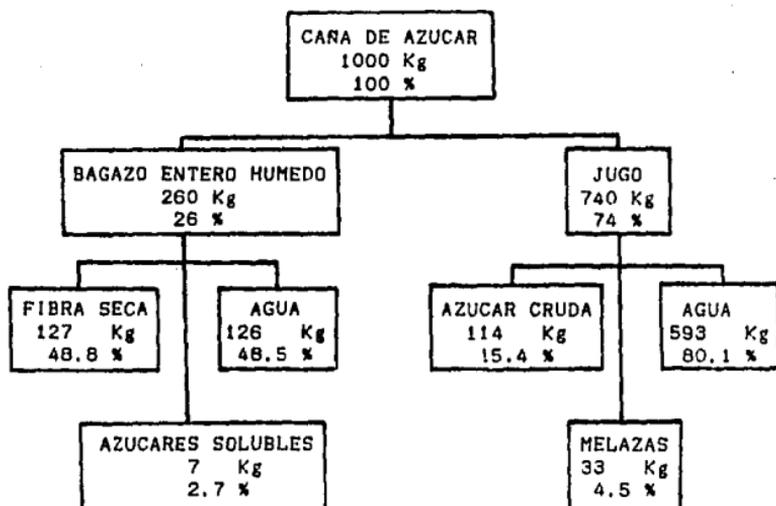


Fig. 4.5 . Derivados de la caña de azúcar.

• PROCESO DE FABRICACION.

Analizando ambos procesos se tiene que en el proceso convencional para madera se requiere de una mayor cantidad de reactivos químicos (16 al 18 % aproximadamente tomando como base la cantidad de fibra utilizada), lo que trae como consecuencia tener un sistema de recuperación de químicos mayor, lo que aumenta la inversión fija y los costos de operación, ó en su defecto, en caso de no tener sistema de recuperación de químicos eleva los costos de producción. (Capital de trabajo).

• PRODUCTO FINAL.

Por medio del proceso semiquímico-térmico, se ha llegado a alcanzar las características que requiere el papel y que son alcanzados solamente con el proceso convencional utilizando madera, tales características son: tener un peso base de 52 gr/m², una blancura de 52 -55 °GE (General Electric), opacidad 87 %, absorbencia, etc., o sea que el producto final cumple con las condiciones que debe alcanzar un papel estandar.

De ésta manera se puede tener una visualización más clara de la conveniencia de utilizar el proceso semiquímico-térmico para fabricar papel a partir del bagazo de caña.

G. ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA.

* NOTA. Analisis realizado en dolares, usd.

Una vez expuestas las ventajas de la utilización del proceso somiquímico-térmico, procederé a realizar el análisis económico del sistema de generación y distribución de vapor y que consistirá de dos facetas:

1. Calculando el costo de inversión fija. Este costo no podrá ser comparado con el de algún otro proceso pues los servicios de vapor varían de planta a planta y dependen de las flexibilidades de los sistemas así como de la disponibilidad de energía eléctrica y combustibles, quedando todo esto sujeto a las características del lugar de instalación.

2. Calculando el costo de vapor por tonelada de papel producido y comparándolo contra el costo de vapor por tonelada de papel producido en un proceso convencional utilizando madera, debiéndose incluir en ésta comparación los costos por consumo de reactivos químicos, ya que esto es una función directa de la utilización de vapor en ambos procesos.

CALCULO DE COSTO POR INVERSION FIJA.

El cálculo lo haré en base a las tablas 4.6 y 4.7:

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL \$usd
CALDERAS	5		
DE FUERZA	2	1 600 000	3 200 000
DE RECUPERACION	3	1 700 000	5 100 000
TURBOGENERADORES	4	960 000	3 840 000
SATURADORAS	3	12 000	36 000
DEAREADOR	4	200 000	800 000
BOMBAS	30	8 000	240 000
TANQUES	6	80 000	480 000
INSTRUMENTACION	-	-	685 000
T O T A L			14 381 000

4.6 COSTO DE EQUIPO

Considerando que el costo total del equipo representa el 32 % de la inversión fija, donde intervienen los factores dados en la tabla 4.8. La instrumentación incluye la computadora de proceso considerando un 5 % del total del costo del equipo.

CONCEPTO	TOTAL %	MTL'S %	MANO DE OBRA %	COSTO TOTAL \$ usd
EQUIPO	32.0	32.0	-	14 381 000
TECNOLOGIA	2.5	-	2.0	1 123 516
INGENIERIA	8.0	-	8.0	3 595 250
MATERIALES: (Tubería, cableado, etc.)	20.0	20.0	-	8 988 125
MONTAJE	18.0	3.0	15.0	8 089 313
OBRA CIVIL	12.0	8.0	4.0	5 392 875
ADMINISTRACION	7.5	-	7.5	3 370 547
T O T A L	100.0	63.0	37.0	44 940 626

4.7. CONTRIBUCION PORCENTUAL DE MATERIALES Y MANO DE OBRA EN PROYECTOS COMO INVERSION FIJA.

Según la tabla 4.8 para el sistema se requiere de una inversión fija de \$ 44 940 626.00 usd. Es común para cualquier estimación de éste tipo, dar un factor de escalación en costo de equipo y costo de mano de obra, dependiendo éste factor del lugar donde sea localizada la planta y del lapso de tiempo en que se instale.

Vale la pena reafirmar que los costos por inversión fija no son comparables contra los de otra planta donde se utilice otro proceso de fabricación de papel, puesto que los sistemas para servicios de vapor varían de planta en planta y dependen de diversos factores dentro de la misma, si acaso, se podrían hacer una serie de alternativas dentro del mismo sistema, como serían: no generar energía eléctrica en la planta, tener calderas de baja presión para vapor saturado exclusivamente, generar toda la energía eléctrica utilizable en la planta, etc. Pero todo esto requiere de un análisis técnico-económico por cada alternativa, que resultaría demasiado extenso analizar en el presente trabajo.

COSTO DE VAPOR POR TONELADA DE PAPAEL PRODUCIDO.

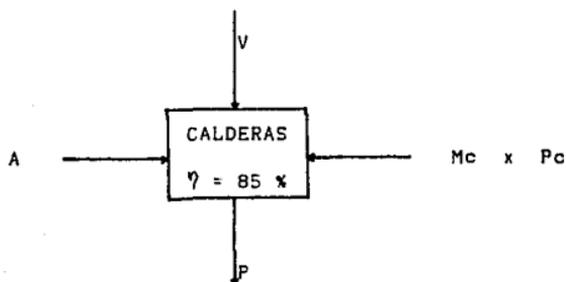
Al costo de vapor por tonelada de papel producido se le denomina costo de producción, el cual está fijado por los costos de combustible, costos de energía eléctrica, costos

de operación y costos de mantenimiento; los cuales desglosaré de la siguiente manera:

* Costos de Combustible (Combustóleo).

Cálculo de consumo de combustóleo.

El cálculo lo haré para condiciones normales de operación en la producción de vapor basado en el siguiente balance térmico:



Donde: V = Vapor saturado mediana presión para calentamiento de combustóleo.

A = Agua desmineralizada de repuesto.

P = Vapor alta presión a estación reductora (Producción de calderas).

Mc = Gasto másico del combustóleo.

Pc = Poder calorífico del combustóleo.

$$\text{Balance de masa: } A = V + P \quad (1)$$

$$\text{Balance térmico: } Mc \times Pc \times \eta \cdot AHa = VHv + PHp \quad (2)$$

Donde: $A = \frac{V}{0.9}$ (3)

$$P = A - V = \frac{V}{0.9} - V = \frac{V}{9}$$
 (4)

Sustituyendo (3) y (4) en (2):

$$Mc \times Pc \times \eta + \frac{V}{0.9} Ha = V H_v + \frac{V}{9} H_p$$

Despejando Mc tenemos:

$$Mc = \frac{V \left[H_v + \frac{H_p}{9} - \frac{H_a}{0.9} \right]}{Pc \times \eta}$$

Donde:

	CANTIDAD	UNIDADES
Mc = Gasto másico del combustible	A DETERMINAR	Kg/Hr
V = Producción de vapor	POR CASO	Kg/Hr
H_v = Entalpia del vapor producido	3 163.58	KJoul/Kg
H_p = Entalpia de las purgas	1 103.89	KJoul/Kg
H_a = Entalpia agua de alimentación	508.33	KJoul/Kg
Pc = Poder calorífico combustible	42 335.24	KJoul/Kg
η = Eficiencia de las calderas	85	%

Sustituyendo valores en la ecuación y dejando el consumo del combustible en función de la producción de vapor tenemos:

$$Mc = \frac{V \left[3\,163.58 + \frac{1\,103.89}{9} - \frac{508.33}{0.9} \right]}{42\,335.24 \times 0.85}$$

$$Mc = 0.0756267 V$$

Entonces aplicando la ecuación anterior a cada caldera en su producción de vapor, tendremos:

Calderas de recuperación:

$$Mc1 = 0.0756267 \times 90\,700 \text{ Kg/Hr} = 6\,859.34 \text{ Kg/Hr}$$

$$Mc2 = 0.0756267 \times 45\,350 \text{ Kg/Hr} = 3\,429.67 \text{ Kg/Hr}$$

$$Mc3 = 0.0756267 \times 22\,675 \text{ Kg/Hr} = 1\,714.84 \text{ Kg/Hr}$$

Calderas de fuerza:

$$Mc4y5 = 0.0756267 \times 72\,560 \text{ Kg/Hr} = 5\,487.47 \text{ Kg/Hr}$$

$$\text{T O T A L} = 22\,978.79 \text{ Kg/Hr}$$

Continuando, el costo del combustible será:

$$\text{Cantidad de combustible:} \quad 468\,766 \text{ Kg/Día}$$

$$\text{Costo del combustible:} \quad 0.12 \text{ \$/Kg}$$

$$\text{Costo total:} \quad 66\,179 \text{ \$/Kg}$$

Costos de la energía eléctrica:

Energía eléctrica

(HP instalados = 1 500 HP): 1 118.6 Kw - Hr
Costo del Kilowatt - hora: 0.1 \$usd/Kw-Hr
sub total: 111.9 \$usd
al día : x 24 Hr
T O T A L: 2 684.5 \$usd/día

Costos de operación.

Considerando que se requiere del siguiente personal:

	SUELDO INDIVIDUAL	SUELDO TOTAL
	usd/día	usd/día
1 Superintendente	13.0	13.0
1 Jefe de ingenieros	10.0	10.0
3 Ingenieros de turno	6.7	20.1
3 Ingenieros de mantenimiento	8.4	25.2
25 Operarios	5.0	125.0
10 Ayudantes	2.7	<u>27.0</u>
IMPORTE DE SUELDOS:		220.3

Costos de mantenimiento.

Por costo de mantenimiento se considera un 0.8 % de la suma total de los tres conceptos anteriores:

\$ mtto. = 0.008 (\$ combustible + \$ eléctrico + \$ operación)

\$ mtto. = 0.008 (66 179 + 2 684.5 + 220.3)

\$ mtto. = 552.87 uds/día

Total do Costo de Producción de Vapor, (\$PV).

\$PV = \$ Combustible + \$ eléctrico + \$ operación + \$ mto.

\$PV = (66 179 + 2 684,5 + 220,3 + 552,67) usd/día

\$PV = 69 636,47 usd/día

Costo por tonelada de vapor producido, (\$TVP).

\$TVP = $\frac{\text{Costo de producción de vapor } \$/\text{día}}{\text{Toneladas de vapor producido Ton/día}}$

\$TVP = $\frac{69\ 636,47}{6\ 198,4}$ = 11,23 usd/Ton

$\frac{\text{Toneladas de vapor}}{\text{Toneladas de papel}} = \frac{6\ 198,4}{900} = 6,89 \frac{\text{Ton vapor}}{\text{Ton papel}}$

Costo de producción por concepto de servicio
de vapor por tonelada de papel producida.

\$TVP x $\frac{\text{Ton vapor}}{\text{Ton papel}}$ = 11,23 x 6,89 = 77,37 usd/ton papel

NOTA: Se consideraron los valores de producción de vapor y de consumo de combustible, considerando en operación normal el sistema.

Para el proceso convencional se tienen los siguientes valores por servicio de vapor:

$$\underline{\text{Ton vapor}} = 6.16$$

Ton papel

Costo por tonelada de vapor producido, (\$TVP).

$$\text{\$TVP} = 11.23 \text{ \$usd} / \text{Ton vapor}$$

NOTA: Se estimará que es el mismo costo de producción de vapor que para el proceso semiquímico-térmico.

Costo de producción por concepto de servicio de vapor por tonelada de papel producido.

$$\text{\$TVP} \times \underline{\text{Ton vapor}} = 11.23 \times 6.16 = 69.18 \text{ usd/ton papel}$$

Ton papel

COSTO DE REACTIVOS QUÍMICOS.

BASES. Se calculará el costo de los reactivos químicos teniendo en cuenta las siguientes bases:

- a) Reactivo químico utilizable: Bosa en ambos procesos.
- b) Rendimiento: proceso semiquímico-térmico = 68.57 %.
proceso convencional = 55.00 %.

$$\eta = \frac{\underline{\text{Tons de papel producido (secas)}}}{\text{Tons de materia prima utilizada}}$$

c) Porcentaje de sosa alimentada:

En el proceso semiquímico-térmico es de 9 % en base a la fibra seca utilizada y de 18 % en el proceso convencional de madera.

d) Rendimiento de recuperación:

Ambos procesos tienen sistema de recuperación de reactivos químicos teniendo en ambos casos un rendimiento de recuperación de 88 %.

e) Costos de la sosa:

El costo de la sosa es de \$ 680.00 usd/ton al 100 % en peso.

Cálculo de costo de reactivos químicos, para el proceso semiquímico-térmico.

De la ecuación del rendimiento del proceso tenemos:

$$\text{Tons. materia prima utilizada} = \frac{\text{Tons. papel producido}}{?}$$

Tons. papel producido (secas) =

$$\text{Tons. de papel producido al 8 \% de humedad} \times 0.92$$

$$\text{Tons. papel producido (secas)} = 900 \times 0.92 = 828 \text{ Ton/día}$$

Tons. materia prima utilizada = $\frac{828}{68.57} \times 100$

68.57

Tons. materia prima utilizada = 1 207.53 Tons. bagazo
día

Cantidad sosa alimentada = Tons. bagazo x % sosa alimentada

Cantidad sosa alimentada = 1207.53 x 0.09 = 108.68 Ton sosa
día

Cantidad sosa recuperada = Tons. sosa x % de recuperación
día

Cantidad sosa recuperada = 108.68 x 0.88 = 95.64 Tons. sosa
día

Cantidad de sosa de repuesto =

cantidad sosa alimentada - cantidad sosa recuperada

Cantidad sosa de repuesto = 108.68 - 95.64 = 13.04 Ton sosa
día

Tons. sosa de repuesto = $\frac{13.04}{900}$ = 0.01449 Ton sosa

Tons. papel producido 900 Ton papel

Costo por concepto de reactivos químicos
 por tonelada de papel producido en el
 proceso semiquímico-térmico.

$$\text{Costo} = 0.01449 \frac{\text{Ton sosa}}{\text{Ton papel}} \times 680 \frac{\$ \text{ usd}}{\text{Ton sosa}} = 9.85 \frac{\$ \text{ usd}}{\text{Ton papel}}$$

Cálculo del costo de reactivos químicos,
 para el proceso convencional de madera.

De la ecuación del rendimiento del proceso tenemos:

$$\text{Tons. materia prima utilizada} = \frac{\text{Tons. papel producido}}{?}$$

Tons. papel producido (secas) =

$$\text{Tons. de papel producido al } 8 \% \text{ de humedad} \times 0.92$$

$$\text{Tons. papel producido (secas)} = 900 \times 0.92 = 828 \text{ Ton/día}$$

$$\text{Tons. materia prima utilizada} = \frac{828}{55.00} \times 100$$

$$\text{Tons. materia prima utilizada} = 1\ 505.45 \frac{\text{Tons. madera}}{\text{día}}$$

Cantidad sosa alimentada = Tons. madera x % sosa alimentada

Cantidad sosa alimentada = 1505.45 x 0.18 = 270.78 Ton sosa
día

Cantidad sosa recuperada = Tons. sosa x % de recuperación
día

Cantidad sosa recuperada = 270.98 x 0.88 = 238.46 Tons. sosa
día

Cantidad de sosa de repuesto =
cantidad sosa alimentada - cantidad sosa recuperada

Cantidad sosa de repuesto = 270.98 - 238.46 = 32.52 Ton sosa
día

Tons. sosa de repuesto = 32.52 = 0.03613 Ton sosa

Tons. papel producido 900 Ton papel

Costo por concepto de reactivos químicos
por tonelada de papel producido en el
proceso convencional de madera.

Costo = 0.03613 Ton sosa x 680 \$ usd = 24.57 \$ usd
Ton papel Ton sosa Ton papel

La tabla 4.8 da la comparación entre el proceso semiquímico-térmico y el proceso convencional de madera, en lo que a concepto servicio de vapor se refiere incluyendo el costo de reactivos químicos utilizados.

PROCESO	<u>Ton Vap</u> Ton Papel	Ton Vap (\$ usd)	<u>Costo Vap</u> Ton Papel	\$ Reactivos x Ton papel	Total \$usd
S-Q	6.89	11.23	77.37	9.85	87.22
Madera	5.16	11.23	69.18	24.57	93.75

Fig.4.8. Resumen de costos por concepto servicios de vapor y reactivos químicos entre el proceso semiquímico-térmico y un proceso convencional de madera.

Como se puede apreciar resulta más económico el proceso semiquímico-térmico, por una diferencia de \$ 6.53 usd/día por tonelada de papel producido, lo que arroja una cantidad de \$ 2 383.45 usd anuales economizados. Puede observarse también que el costo por manejo y recuperación de reactivos químicos tanto de inversión inicial como de operación, es mayor para el proceso convencional de madera, pues se requiere de una mayor cantidad de reactivos químicos; aunado a éstas ventajas se tienen las ya descritas en el inicio del inciso 4.7, como son la disponibilidad y economía de la materia prima, la carencia o falta de renovación de bosques, etc.

Así de esta forma se tiene una idea más clara de las ventajas económicas de un proceso o otro, aunque para

llevar a cabo una comparación real se tendrían que analizar todas las áreas integrantes de la planta, sin embargo para el presente es suficiente éste análisis comparativo y justifica económicamente la generación y distribución de vapor de vapor en la planta.

CONCLUSIONES

"La palabra ha sido dada al hombre
para disgrazar su pensamiento.
El papel no se ruboriza."

De acuerdo a lo expuesto, la finalidad que pretendí en la elaboración de la tesis, fué el verificar el grado de desarrollo tecnológico que mantiene México en los diferentes tipos de industrias de procesos. Esta investigación me llevó a conocer más allá de lo que en algún momento imagine en lo que al control de plantas se refiere; aún cuando en el texto no hablo de experiencias, sino de la aplicación de la teoría del control en grandes rasgos, una de mis más grandes satisfacciones ha sido el conciliar los conocimientos y curiosidad creada en los estudios universitarios con el contacto directo de las personas que integran y estructuran toda la base de conocimientos adquirida hasta el momento y expuestos en esta tesis. Creando así, una única amalgama de sentimiento (quizá más propio "entendimiento") muy especial ante el dominio de la materia y el mundo material.

Todo esto sería difícil escribirlo en unas cuantas líneas, sin embargo he de mencionar que, el desarrollo de esta tesis fue más que el recurrir a los libros, fué el

visitar diferentes complejos industriales, como es la refinería '18 de Marzo', ubicada en Tula, Hidalgo; complejo petroquímico 'La cangrejera', localizada en Cotzacoalcos, Veracruz; y el complejo nucleoelectrico de Laguna Verde en Veracruz. Todo ello con el fin de crear un puente de conocimiento que una la práctica y la teoría.

Siguiendo con esta filosofía, todo cuanto al diseño, construcción, instalación, mantenimiento, ingeniería y puesta en marcha de una máquina de proceso está planeado para el mejor aprovechamiento del trabajo que ésta puede proporcionar, sin embargo, es triste mencionar que en la mayor parte de la industria mexicana se encuentran casos deplorables del derroche de energía, debido al pobre entendimiento del factor humano a los procesos, así como el poco interés que existe en conocer el avance tecnológico de último grito, que si bien, requiere de una elevada inversión económica en primera instancia, también es cierto que éstos equipos ofrecen un rápido retorno del capital invertido, debido a los efectos del buen control existente en el proceso, tal como el caso analizado.

DEFINICIONES

"La manera de dar vale
más que lo que se da"

ARENAS BITUMINOSAS. Formaciones minerales combustibles formadas por queroseno.

BTU. "British thermal unit", es la cantidad de energía requerida para elevar una libra de agua de 63 a 64 grados fahrenheit.

CALERA. Horno de Cal.

CALIDAD. Porcentaje de vapor en un líquido. Mezcla de vapor a condiciones de saturación.

CALOR. Suma de las energías cinéticas de las moléculas de los cuerpos.

CALOR ESPECIFICO. Energía calorífica necesaria para elevar de un grado la temperatura de la unidad de masa de una sustancia.

CALOR LATENTE. Calor necesario a aplicar a la unidad de masa de un líquido que se halla a determinada temperatura para que pase al estado de vapor saturante de igual temperatura.

CALORIA. Unidad de la energía térmica. Es la cantidad de energía requerida para elevar 1 kg de agua de 14.5 a 15.5 grados centígrados.

CICLO TERMODINAMICO. Cambio de un sistema en un estado inicial dado, a través de varios cambios e procesos y que finalmente vuelve a tal estado inicial.

COMBUSTIBLE. Materias que al combinarse con el oxígeno, arden con desprendimiento de calor.

CONDENSACION. Paso de un vapor al estado líquido o sólido.

CONVECCION. Corriente que se establece entre dos puntos de una masa fluida cuando existe entre ellos una diferencia de temperatura.

DESTILACION. Separación por el calor de los principios contenidos por ciertas sustancias sólidas, con el objeto de recogerlos en forma de gas.

DIGESTOR. Aparato propio para extraer las partes solubles de ciertos cuerpos.

DISPARO. En términos de control, disparo es toda perturbación que desequilibra el sistema por un rompimiento inesperado de una variable de control.

EBULLICION. Paso rápido al estado gaseoso de un líquido cuya presión de vapor, al aumentar la temperatura, llega a ser igual a la presión ambiente a que se halla sometido el líquido.

ENERGIA. Capacidad de los cuerpos ó sistemas para efectuar un trabajo.

ENERGIA INTERNA. Capacidad de tener propiedades termodinámicas.

ENERGETICO. Relativo a la energía. Es toda materia que puede a partir de sus propiedades ser fuente de energía.

ENTALPIA. Energía calórica de un sistema termodinámico, cuya magnitud depende de los estados inicial y final del mismo.

La entalpia es la suma $i = U + pV$, en donde U es la energía interna del fluido, p su presión y V su volumen.

ENTROPIA. Grado de desorden de la materia.

Propiedad que describe (matemáticamente) la porción de el calor aderido a un proceso que no puede ser convertido completamente en trabajo. Esto es una medida de indisponibilidad.

ESQUISTOS. Roca de estructura laminar ricas en aceites minerales que se recuperan industrialmente por destilación.

EVAPORACION. Transformación en vapor de un líquido sin que éste alcance la temperatura de ebullición.

FISION. Ruptura en fragmentos del núcleo de un átomo pesado, provocada por una partícula incidente, especialmente por un neutrón.

FUSION. Unión de dos ó más núcleos ligeros en un sólo núcleo de masa más elevada.

GRADOS BAUME. Escala graduada cuya mayor ó menor flotabilidad en un líquido depende de la densidad de éste. También son utilizados para designar el grado de concentración de una disolución.

HIDROCARBURD. Carburo de hidrógeno.

HOLLIN. Materia crasa y negra que el humo deja pegada en las chimeneas compuesta de carbono finamente pulverizada, aceites y sustancias piroleñosas.

HUMEDAD ABSOLUTA. Pese en gramos del agua contenida por un metro cúbico de aire.

HUMEDAD RELATIVA. Relación entre la fracción mol del vapor en la mezcla y la fracción mol del vapor en una mezcla saturada a la misma temperatura y presión.

INTEGRAL CICLICA. Suma de todos los términos infinitamente pequeños en un número infinitamente grande a través del ciclo termodinámico.

ISOTOPO. Atomos cuyos núcleos tienen el mismo número de protones y de electrones, pero de diferente número de neutrones.

LICOR NEGRO. Producto alcohólico proveniente de la masoración de la pulpa de la madera, en la producción del papel.

LIQUIDO SATURADO. Líquido que a la presión existente tiene una temperatura de ebullición.

OPTIMIZACION. Acción y efecto de conferirle las mejores cualidades posibles a un sistema dado.

PESO ESPECIFICO. Peso ó fuerza por unidad de volumen.

PODER CALORIFICO. Cantidad de calor liberado por un combustible y por unidad de peso.

PRESION. Fuerza ejercida perpendicularmente a una superficie por un fluido, por el peso ó el empuje de un sólido. $P = F / A$;

PROCESO. Sucesión de fases ó estados que se producen regularmente en un sistema.

PURGA. Acción y efecto de evacuar el líquido cuya presencia puede dificultar el funcionamiento de una máquina u obstruir un proceso.

RADIACION. Emisión de ondas electromagnéticas, de partículas atómicas ó de rayos de cualquier índole que producen calor.

RETORTA, carbón de. Carbono casi puro que se obtiene al carbonizar gases de destilación de la huya y que se usa para fabricar electrodos.

ROCA GRANITICA. Masa mineral porosa que regularmente contiene al petróleo en los yacimientos. (Roca almacén).

SISTEMA DE CONTROL. Cantidad de materia de masa fija sobre la cual se enfoca la atención.

TEMPERATURA. Magnitud que permite expresar el grado de calentamiento de los cuerpos.

TERMODINAMICA. Estudio de la energía, sus transformaciones del calor en trabajo y viceversa. Formulación matemática que describe la conversión y utilización de la energía.

TOBERA. Conducto perfilado para que el fluido que por él circula aumente su velocidad (con pérdida de presión) ó su presión (reduciendo entonces su velocidad).

TRABAJO. Magnitud igual al producto de una fuerza por la distancia recorrida.

TRANSITORIO. Periodo de tiempo que dilata un sistema desde que pierde su equilibrio hasta que lo recupera.

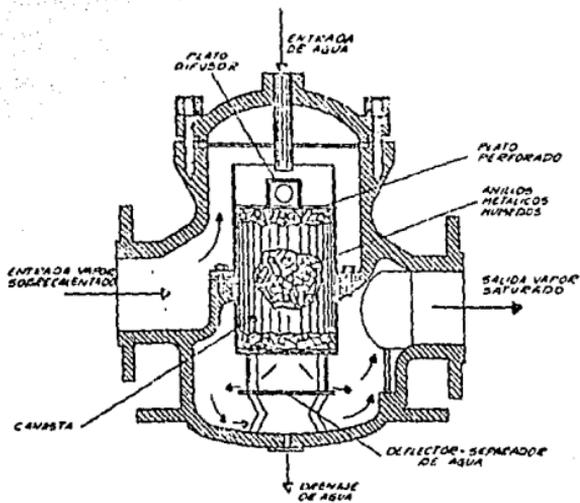
VISCOSIDAD. Propiedad de los fluidos en los cuales el roce de unas moléculas con otras, opone una resistencia al movimiento uniforme de su masa.

A P E N D I C E D

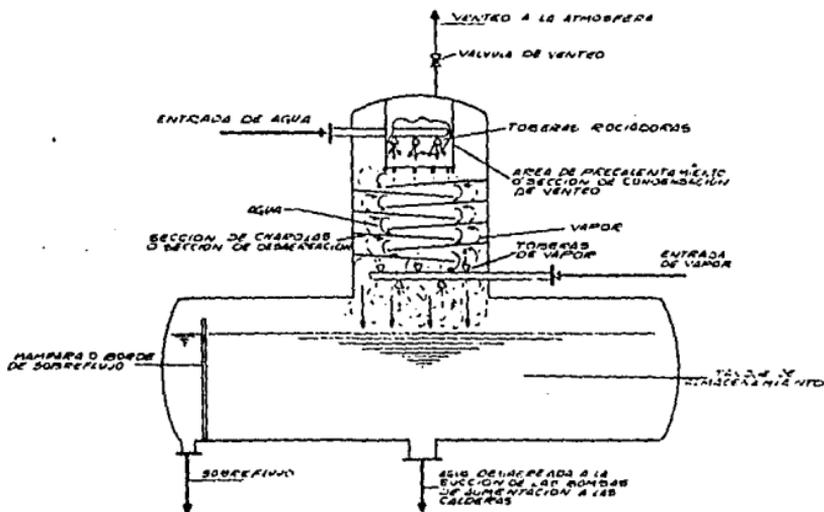
"Si los buenos fueran mejores,
no habría tantos malos."

COMPENDIO DE DIAGRAMAS

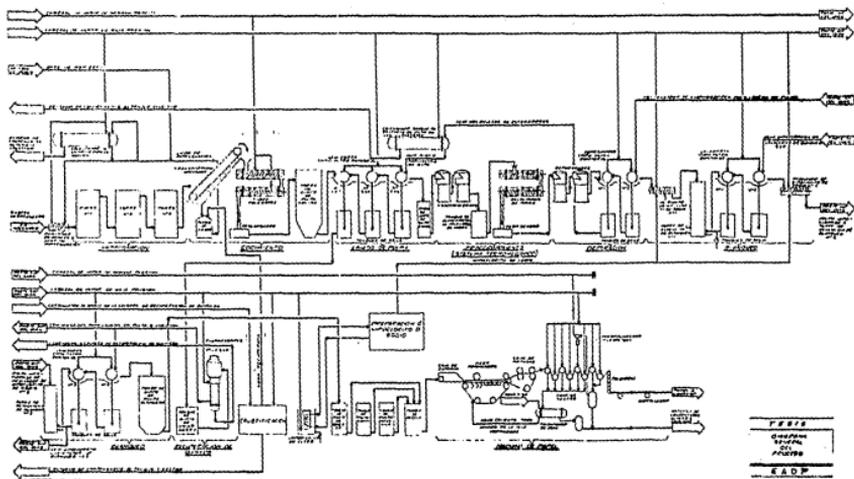
<u>DIAGRAMA: SIMBOLOGIA</u>			
LITERALES	SIMBOLOS		
S	SEGURIDAD O ALIVIO (1ª LETRA)	M	VALVULA DE GLOBO NORMALMENTE ABIERTA
V	VALVULA	X	VALVULA DE GLOBO NORMALMENTE CERRADA
T	TRANSMISOR (2ª LETRA)	M	VALVULA DE COMPUERTA NORMALMENTE ABIERTA
T	TEMPERATURA (1ª LETRA)	M	VALVULA DE COMPUERTA NORMALMENTE CERRADA
C	CONTROLADO	N	VALVULA CHECK O DE NO RETORNO
P	PRESION	Q	VALVULA DE CONTROL
I	INDICADOR	A	VALVULA DE SEGURIDAD O ALIVIO
N	NIVEL	Z	TRAMPA DE VAPOR
S	INTERRUPTOR (1ª LETRA)	Z	FILTRO TIPO "Y"
B	BAJO	○	INSTRUMENTO LOCAL
A	ALTO	⊖	INSTRUMENTO EN TABLERO
F	FLUJO	Y	DRENAJE
R.C	REGISTRADOR CONTROLADO DE TRES VARIABLES	→	NUMERO DE DIAGRAMA DE PROCEDENCIA O ENVIO DE LA LINEA
		⊙	BOMBA CENTRIFUGA
		⊙	BOMBA ROTATORIA
		—	LINEA PRINCIPAL
		- - -	VENA DE VAPOR
		- - -	SEÑAL ELECTRICA
		⋯	SEÑAL NEUMATICA



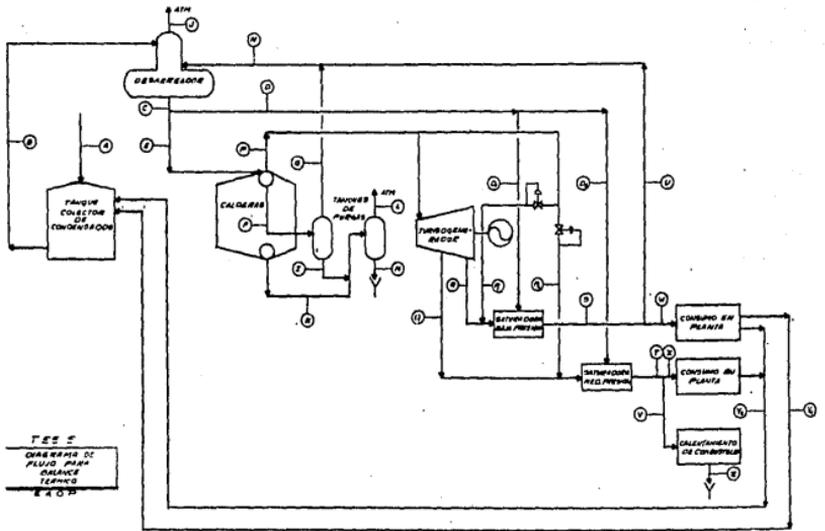
SATURADORA DE VAPOR

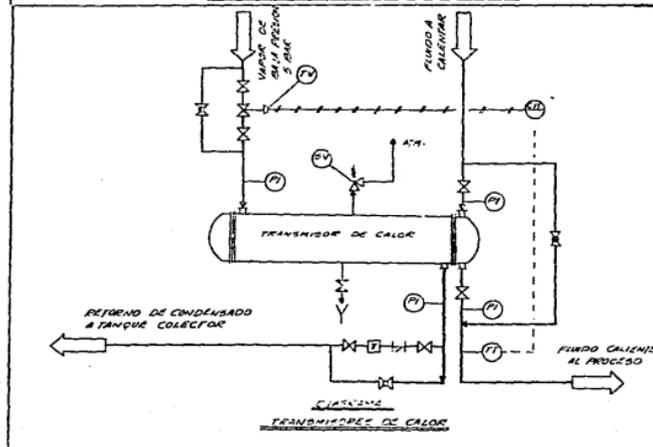
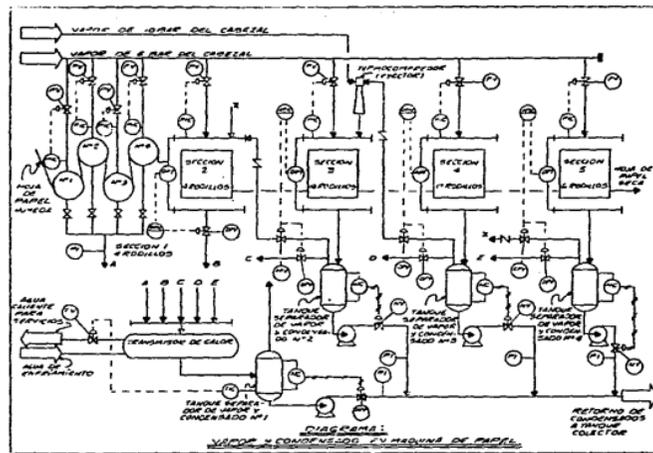


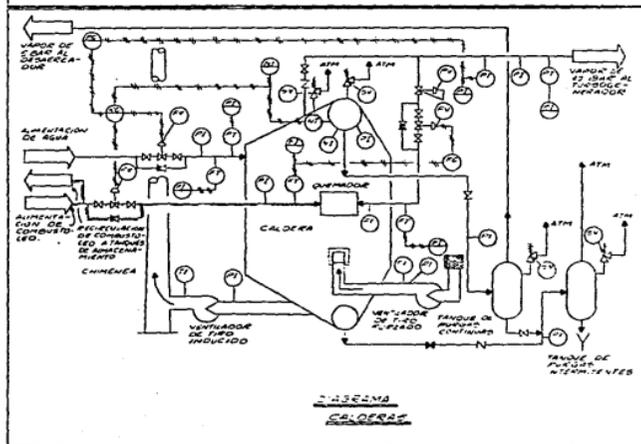
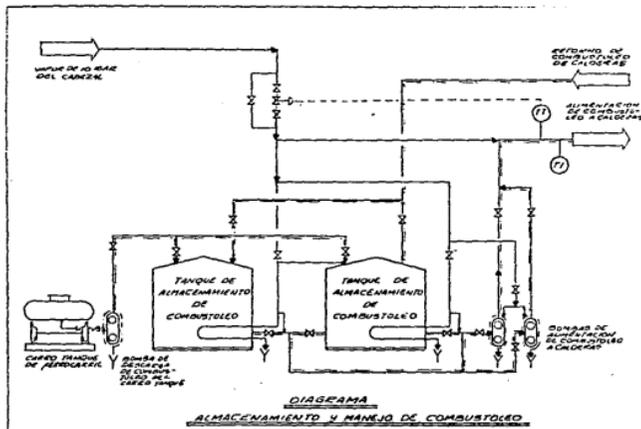
DESCARADOS

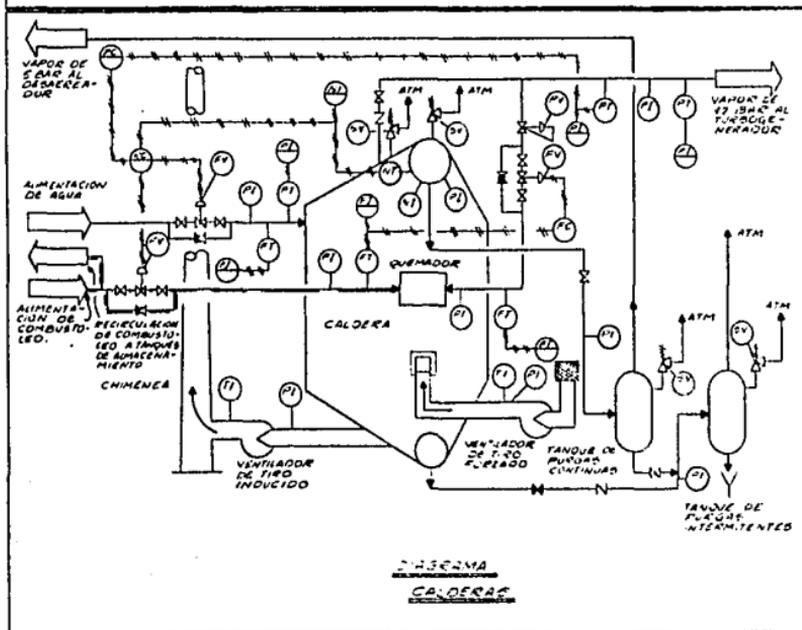
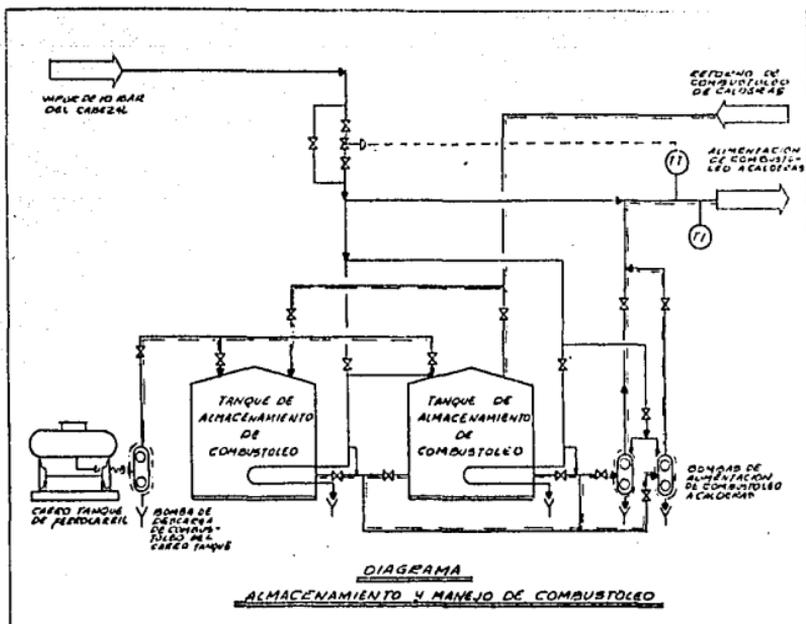


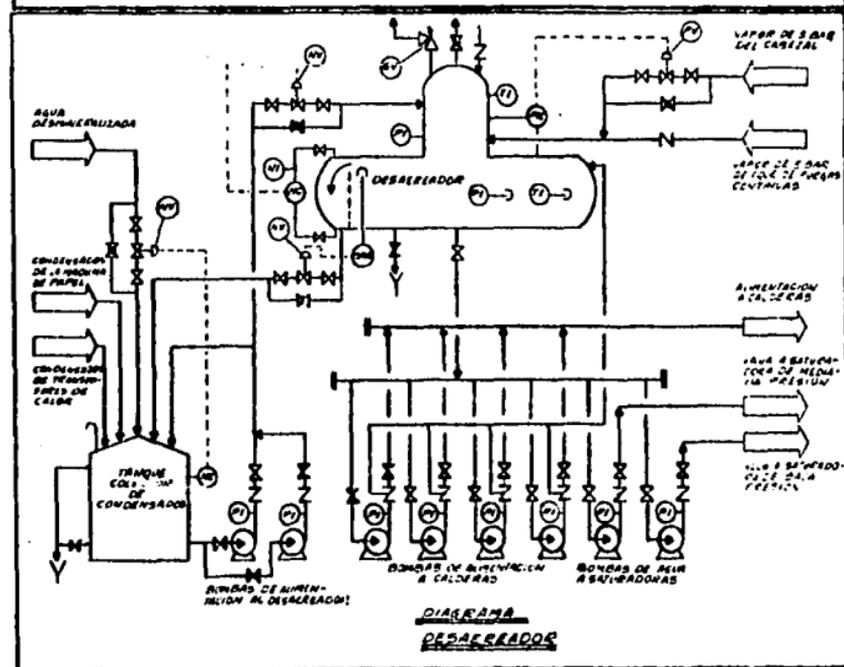
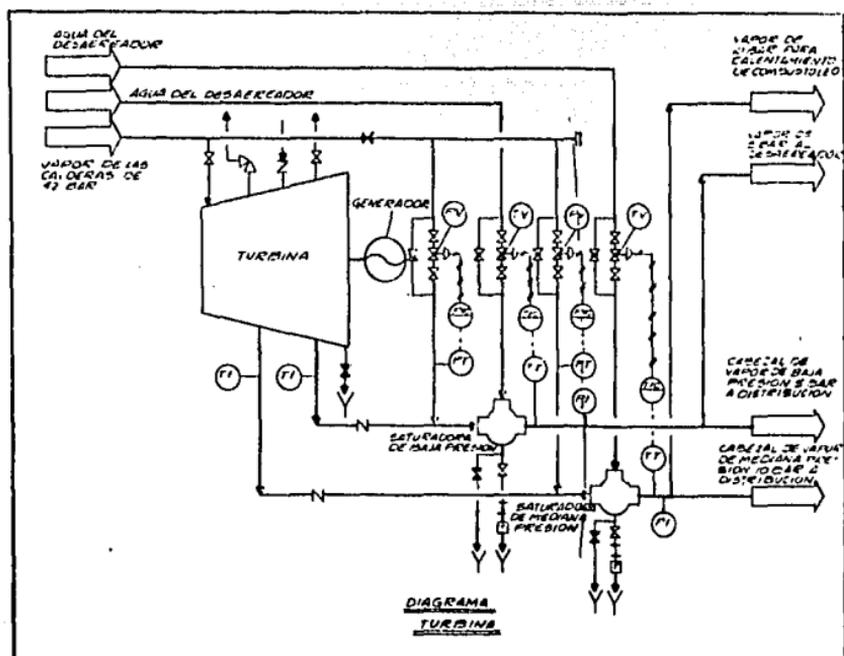
FBI/DO
Schematic Diagram
of
Process
KADP

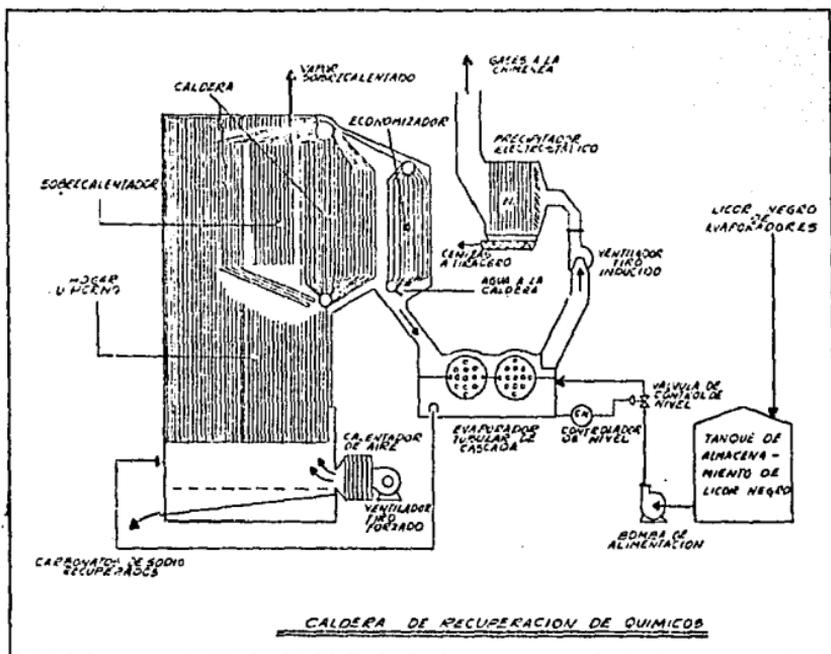


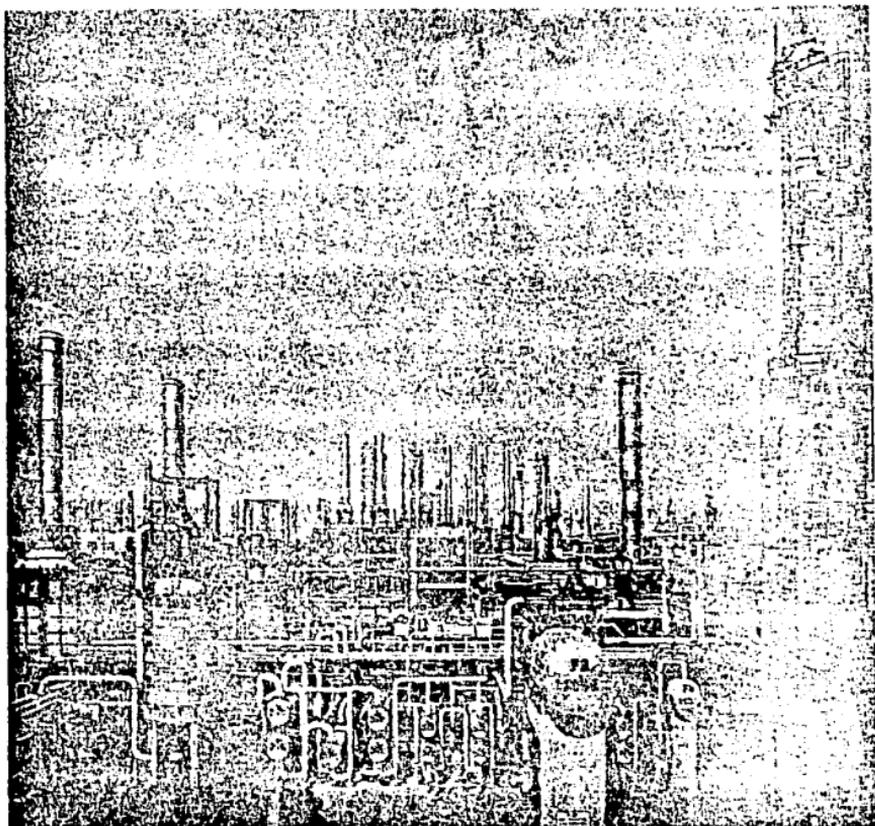


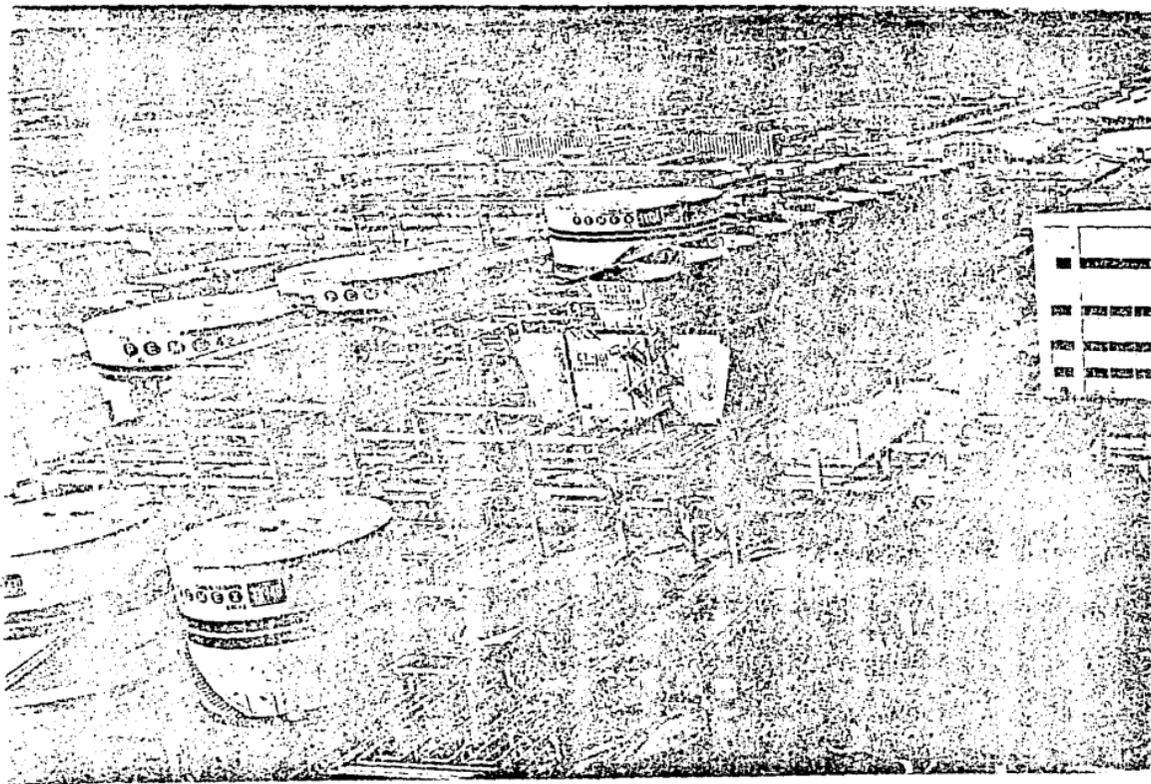












BIBLIOGRAFIA

"En la escala de la perfección no hay límites, siempre es posible superarse no importando que tan alto se haya llegado. Hacer de lo mejor algo óptimo es la norma de los espíritus superiores".

Debo expresar que relacionado a éste tema desarrollado, existe una gran cantidad de información en cada industria y sus proveedores de equipo de control. A quien le interesen datos específicos no sólo recurrirá a la escasa bibliografía que aquí presento, pues únicamente son los libros básicos de la teoría, el resto es información de diferentes experiencias transmitidas por gente que tienen día a día el contacto de la industria de procesos.

1. Daumoister y Marks

MANUAL DEL INGENIERO MECANICO DE MARKS
UTHEA, ED. FOURNIER, S.A. MEXICO 1960.

2. C.Kuo, Benjamin

AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
PRENTICE-HALL
ENGLEWOOD CLIFFS, NEW JERSEY, 1975.

3. Curso de Control "Calderas y Administración de Energía"
FOXBORO, S.A.
4. Sittig Marshall
PRACTICAL TECHNIQUES FOR SAVING ENERGY
5. Francis
EL COMBUSTIBLE Y SU TECNOLOGIA
MEXICO 1982.
6. Conacyt
EL PETROLEO EN MEXICO EN EL MUNDO
MEXICO 1985.
7. Polo Encinas M.
ENERGETICOS Y DESARROLLO TECNOLOGICO
MEXICO 1984.
8. P E M E X
CONSERVACION Y AHORRO DE ENERGIA
Suplemento de la revista: "Nosotros los Petroleros".
9. Francis G. Shinsky
ENERGY CONSERVATION THROUGH CONTROL
ACADEMIC PRESS.

10. DESTILACION CONTROL FOR PRODUCTIVITY AND

ENERGY CONSERVATION

ACADEMIC PRESS.

FOXBORO, MASSACHUSETTS, 1978.

FRANCIS G. SHINSKEY

11. Gardon J. Van Wylen

Richard E. Sonntag

FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA

Ed. Limusa, Mexico 1983.

12. John R. Lavigne

INSTRUMENT APPLICATION FOR THE PULP AND PAPER

INDUSTRY

Academic Press.