

01170
2ej. 2

**COGENERACION INDUSTRIAL EN MEXICO
-PRODUCCION DE ELECTRICIDAD-
ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS**

JESUS CUEVAS SALGADO

TESIS

Presentada a la División de Estudios de
Posgrado de la
FACULTAD DE INGENIERIA
de la
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
como requisito para obtener
el grado de

**MAESTRO EN INGENIERIA
(ELECTRICA)**

Ciudad Universitaria, D.F., mayo de 1987.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

SINTESIS

En este trabajo se analiza el estado actual de la cogeneración en México y se discuten las posibilidades que tiene esta técnica para lograr aquí un desarrollo semejante al observado en los países desarrollados.

Desde el punto de vista eléctrico, se demuestra que existen algunas oportunidades de mejorar la utilización de la capacidad eléctrica instalada actualmente con fines de autoabastecimiento en diversas plantas de procesos afines a la cogeneración, y que, a través de su aplicación, es posible operar unidades de baja potencia para producir económicamente energía eléctrica.

I N D I C E

Introducción	1
I ESTADO ACTUAL DE LA COGENERACION INDUSTRIAL EN MEXICO	
Sistemas Termodinámicos	5
Aspectos eléctricos	6
II PERSPECTIVAS	
a) Marco Legal	12
Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica	13
Programa Nacional de Energéticos 1984-1988	18
b) Aspectos Técnicos	25
Eficiencia de transformación de combustibles	25
Confiabilidad del suministro de electricidad	27
c) Aspectos Económicos	30
Autoproducción	31
Petróleos Mexicanos	32
Comisión Federal de Electricidad	32
Economía Nacional	33
Análisis de Sensibilidad	40
d) Pronóstico de la evolución de la capacidad eléctrica asociada a los esquemas de cogene- ración industrial.	41
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	55
APENDICE A.-Sistemas de Cogeneración	57
APENDICE B.-Esquemas de cogeneración aplicados en las industrias de México	71

1. Azúcar	72
2. Siderúrgica Integrada	83
3. Refinación de Petróleo	99
4. Petroquímica Básica y Plantas de Tratamiento de Gas Natural	117
5. Papel	141
6. Química	146
7. Minería	149
8. Cerveza	155
9. Textil	159
10. Planta Eléctrica del Grupo Industrial	162

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

Cogeneración es el término empleado para denominar los sistemas que combinan los procesos térmicos asociados a la producción de energía eléctrica (o mecánica), con otro tipo de procesos térmicos (generación y/o demanda de vapor o calor), utilizando el calor de desperdicio de uno como la entrada de energía del otro.

La cogeneración es, en esencia, una técnica que permite mejorar la eficiencia de conversión de los combustibles a otras formas de energía como son calor y electricidad.

Con su aplicación, se ha demostrado que es posible aprovechar la energía térmica que se desperdicia en la producción de electricidad de manera independiente a la demanda de calor o producción de calor en diversos procesos, usando entre 10 y 30 por ciento menos de combustible, dependiendo de la configuración y aplicaciones involucradas.

Esta técnica ha encontrado uno de sus principales campos de desarrollo en la industria de proceso. Dentro de las ramas típicas están: refinación de petróleo, fabricación de papel, azúcar, textiles, siderúrgica, química y otras más.

Desde luego existen diversas aplicaciones importantes en otras áreas. Pueden señalarse las siguientes: calefacción centralizada de zonas urbanas, desalación de agua, y recuperación secundaria de petróleo.

La cogeneración fue particularmente común en las primeras décadas de este siglo, sobre todo en Europa. No obstante, debido al bajo precio internacional de los hidrocarburos, la eficiencia energética pasó a términos secundarios durante un lapso -- considerable.

A partir de 1973, a raíz de las llamadas crisis de energía, -- ocasionadas por las revaluaciones del precio internacional del crudo, los países desarrollados, principales demandantes de este producto, implantaron una serie de medidas encaminadas a reducir su dependencia en el petróleo extranjero. Una de ellas fue, precisamente, revisar e intensificar la cogeneración.

El concatenamiento de los procesos para producir electricidad con los procesos térmicos mencionados dió lugar, entre otras cosas, a:

- el incremento de la oferta de electricidad por medio de la - instalación de plantas de autoproducción y/o a través de la operación más económica en las existentes,
- el mejoramiento de la calidad del suministro de electricidad como consecuencia del resultado anterior,
- el florecimiento del mercado de calores de desperdicio y de excedentes de electricidad por parte de los autoprodutores, y
- el establecimiento de sociedades mercantiles cuando los equipos de los sistemas conformados pertenecían a diferentes propietarios.

Por su naturaleza, la cogeneración involucra ineludiblemente a las empresas industriales y a las empresas de servicio público de energía eléctrica.

En base a estos antecedentes, puede decirse que la cogeneración es capaz de producir beneficios económicos a las empresas industriales de proceso, a las empresas eléctricas de servicio público y, en última instancia, a la economía del país donde se implanta.

Con este marco de referencia internacional y tomando en cuenta que a partir de 1981 la política energética del país ha sido orientada a mejorar la eficiencia térmica en el empleo de los combustibles, se consideró conveniente llevar a cabo una investigación que permitiera establecer la base esquemática y cuantitativa de la cogeneración en la industria mexicana de proceso, a partir de la cual, podrían discutirse sus posibilidades de revisión y su impacto en la economía nacional.

En el primer capítulo del presente documento se consigna el diagnóstico de los sistemas de cogeneración aplicados en las principales industrias de proceso del país, con énfasis en los aspectos de producción de energía eléctrica. El capítulo II discute las perspectivas de la cogeneración en México, tomando en cuenta aspectos legales, técnicos y económicos; este capítulo también incluye un pronóstico de la capacidad de generación de energía eléctrica en las instalaciones industriales de los particulares (autoabastecimiento), en términos de la cogeneración. El apéndice A contiene el marco de referencia de la cogeneración, es decir, muestra las diversas relaciones

que existen entre los parámetros técnicos, económicos y de propiedad observados en otros países. Por último, en el - Apéndice B se proporciona la información esquemática de los sistemas de cogeneración que operaban en México en 1984, en cada rama industrial.

CAPITULO I

ESTADO ACTUAL DE LA COGENERACION EN MEXICO

Esta sección comprende la síntesis de los aspectos más relevantes del estado en que se encuentran los sistemas de cogeneración industrial en el país, de acuerdo a las distintas perspectivas de análisis inducidas por su desarrollo en el medio internacional (Apéndice A).

Los resultados se refieren a 159 plantas industriales que contaban con permiso de autoabastecimiento de energía eléctrica en 1984, las cuales cubren prácticamente el universo de lo que es la Gran Industria de Procesos en México (Apéndice B).

Sistemas Termodinámicos

El cuadro 1 muestra que, efectivamente, en México al igual que en los países desarrollados, la cogeneración ha sido considerada en sus diversas aplicaciones industriales, con una evolución semejante a la de aquellos.

No obstante, existen varios casos donde el autoabastecimiento eléctrico se lleva a cabo de manera convencional.

Cuadro 1.

Sistemas Termodinámicos empleados para producir potencia - Eléctrica y/o mecánica en las industrias mexicanas en 1984

Rama Industrial	Cogeneración			1/ Convencional
	Topping	Bottoming	Ciclo combinado	
Azúcar	X			
Siderúrgica integrada	X	X	X	X
Refinación de petróleo	X	X		X
Petroquímica básica	X	X		X
Papel	X			
Química	X			
Minería		X		X
Cerveza	X			
Textil	X			
PEGI ^{2/}	X			

1/ Solamente electricidad

2/ Planta Eléctrica del Grupo Industrial.

Es pertinente aclarar que el cuadro anterior no pretende calificar el grado de eficiencia térmica alcanzado en cada rama industrial, sino únicamente consignar los esquemas generales aplicados.

Con relación a los aspectos particulares observados resalta el hecho de que en varias plantas industriales se han combinado la economía energética y la confiabilidad operativa, como lo demuestra el empleo alternativo de turbinas de vapor y motores eléctricos.

Esto es, parece que en las plantas petroquímicas y en los ingenios azucareros los lineamientos de diseño están orientados a utilizar turbinas de vapor en el equipo principal para reducir la demanda de energía eléctrica.

Sin embargo, son muy comunes los arreglos donde los motores eléctricos operan habitualmente los ventiladores de tiro forzado o inducido de las calderas, las bombas de condensado y alimentación y otros equipos auxiliares, teniendo de respaldo turbinas de vapor.

Por otra parte, se encontró que solamente se emplea agua como medio de trabajo en los ciclos Rankine detectados, en contraposición al uso de otros consignados en la literatura.

Aspectos Eléctricos

En el cuadro 2 se presentan algunas características de los equipos de autoabastecimiento termoeléctrico instalados en las plantas de proceso del país.

Cuadro 2. AUTOABASTECIMIENTO TERMoeLECTRICO

1 9 8 4

Industria	Plantas	Grupos Electrogeneradores				Grado Cogenera ción	Electricidad		Grado Autoabas tecimien	Factor Planta Electric
		Unidades	Potencia	Tipo			Genera ción	Consu mo		
	No	No	Total	Vapor	T. Gas	%			Gwh	%
PETROQUIMICA BASICA ^{1/}	8	28	505	180	325	56	1 461	2 129	69	33
REFINACION DE PETROLEO	7	31	381	361	20	78	1 257 ^{2/}	1 897 ^{2/}	66 ^{2/}	38 ^{2/}
SIDERURGICA INTEGRADA	6	35	424	249	175	88	1 219	2 959	41	33
AZUCAR	68	206	360	360	0	100	450	469	96	14
PAPEL	21	29	189	151	38	100	442 ^e	n.d.	n.d.	27
QUIMICA	27	33	151	148	3	100	821 ^e	n.d.	n.d.	62
MINERIA	14	16	64	64	0	73	129 ^e	n.d.	n.d.	23
CERVEZA	4	11	30	30	0	100	139	n.d.	n.d.	53
TEXTIL	3	3	11	11	0	100	39	n.d.	n.d.	39
PEGI ^{3/}	1	11	177	151	26	100	927	n.a.	n.a.	60
T o t a l	159	403	2 292	1 705	567		6 884	n.d.	n.d.	34

1/ Incluye plantas de tratamiento de gas natural y la Terminal Marítima de Pajaritos, Ver.

2/ Datos de 1981

3/ Planta Eléctrica del Grupo Industrial

e Estimado en base a datos parciales

n.d. No disponible

n.a. No aplicable

El grado de cogeneración se refiere al cociente de dividir la capacidad instalada con algún esquema de cogeneración entre la potencia total. Desde luego este es un índice que no implica necesariamente una ponderación de la cercanía al grado óptimo de cogeneración. Sin embargo es útil como medida de sensibilidad a posibles revisiones de operación o de esquema.

El grado de autoabastecimiento es la relación que guardan la generación propia y el consumo total.

La columna señalada como factor de planta indica la parte equivalente del año que operaron los equipos eléctricos para producir la electricidad reportada como generación.

Para fines comparativos en el cuadro 2a se muestran algunas magnitudes del cuadro 2 con las correspondientes al Sector -- Eléctrico Nacional.

CUADRO 2a

DATOS DE PLANTAS TERMoeLECTRICAS INSTALADAS EN MEXICO ^{1/}

1984

	Autoabastecimiento	Sector Eléctrico Nacional
Capacidad Instalada MW	2 292	11 787
Generación GWh	6 884	50 975
No. de plantas	159	92
No. de unidades	403	304

1/ No incluye geotermia ni carbón

Esquemas de propiedad

Solamente la Planta Eléctrica del Grupo Industrial de Monterrey, N.L. presenta la participación de varios propietarios

Esquemas Comerciales

No se encontraron ejemplos adicionales a PEGI sobre arreglos comerciales en torno al calor o vapor de desperdicio.

Por otra parte, se observó que durante 1984 se dieron intercambios de electricidad entre Fundidora de Monterrey y la Comisión Federal de Electricidad.

Interconexión Eléctrica

A partir de la información disponible sobre las compras de electricidad y capacidad instalada en subestaciones eléctricas (ingenios azucareros) puede establecerse que todas las plantas de proceso estudiadas están conectadas a la red pública.

La relación entre las compras de electricidad, la autogeneración y la potencia instalada sugieren la aplicación de esquemas con respaldo redundante.

Diversificación Energética

Durante la investigación se pudo comprobar que en las ramas industriales estudiadas ya se han dado algunos pasos importantes. Sobresalen en este renglón la utilización del bagazo de caña - en la industria azucarera; finos de coque en la siderúrgica; -

licores en la industria papelera; y el aprovechamiento de calores producidos en reacciones químicas, como en las petroquímicas.

En cuanto al bagazo de caña conviene señalar que además del consumo en calderas y el vendido como materia prima a la industria de celulosa, todavía una cantidad significativa es desperdiciado.

Entre las opciones de utilización energética estaría la sustitución de combustóleo o su empleo para producir electricidad adicional.

Medio Ambiente

Tratando de identificar las causas que han influido, positiva o negativamente, para que la cogeneración industrial se encuentre en su estado actual, se puede pensar que entre las principales sobresalen las siguientes:

- 1.- La importación de tecnología de las plantas con procesos térmicos. Comparando los esquemas de procesos de la literatura especializada se concluye que las plantas instaladas en el país son semejantes a las de países desarrollados y que la cogeneración es una técnica implícita.
- 2.- La carencia tradicional de una política oficial dirigida al uso eficiente de la energía, que en cierta medida se habría contrapuesto, aparentemente, a un contexto económico interno donde los energéticos industriales son baratos (con precios inferiores a los internacionales, y subsidiados) y recursos petroleros abundantes.

3.- El crecimiento o expansión de las instalaciones. De acuerdo a los puntos anteriores, es concebible que la optimización de los sistemas para mantener un uso eficiente de la energía no correspondía a un objetivo primario en la actividad industrial.

Conclusión

En síntesis, puede establecerse que, de acuerdo a la experiencia de otros países y a los resultados de esta investigación, la cogeneración industrial en México presenta un desarrollo -- heterogéneo, en principio susceptible de mejorarse.

Al respecto, se piensa que su desarrollo futuro o potencial es tará supeditado a factores técnicos, económicos, políticos y legales, coyunturales y de largo plazo

En los capítulos siguientes se lleva a cabo una discusión en torno a varios de ellos.

CAPITULO II

PERSPECTIVAS

A la luz de la información recopilada y del análisis realizado en el capítulo anterior, se puede incluir preliminarmente que existen oportunidades de incorporar electricidad a la economía nacional a través de la cogeneración industrial.

Sin embargo, la magnitud absoluta dependerá de la conjugación de factores ajenos a los técnicos como son: legales y, sobre todo, económicos.

Cabe subrayar al respecto que el objetivo primordial de la cogeneración es aportar beneficios económicos al país en su conjunto. En este caso la bondad de la cogeneración deberá medirse en términos del ahorro de combustibles petrolíferos y de las inversiones requeridas para tal efecto.

Las páginas siguientes contienen una discusión sobre los factores mencionados que pretende establecer un marco de referencia para el desarrollo adicional y futuro de la cogeneración en México.

a) Marco Legal

La primera instancia del análisis de perspectivas es el relativo a la normatividad legal.

La reglamentación oficial para desarrollar proyectos de cogeneración está contemplada en dos documentos básicos: la Ley del -

Servicio Público de Energía Eléctrica y el Programa de Energía 1984.

Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

A continuación se transcriben los artículos más relevantes relacionados con la finalidad de este trabajo. Se incluyen las reformas publicadas en el Diario Oficial de 27 de diciembre de 1983.

Artículo 1o.- Corresponde exclusivamente a la Nación, generar conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público, en los términos del Artículo 27 Constitucional. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación -- aprovechará, a través de la Comisión Federal de Electricidad, los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.

Artículo 2o.- Todos los actos relacionados con el servicio público de energía eléctrica son de orden público.

Artículo 3o.- No se considera servicio público el autoabastecimiento de energía eléctrica para satisfacer intereses particulares, individualmente considerados.

Artículo 4o.- Para efectos de esta Ley, la prestación del servicio público de energía eléctrica comprende:

I.- La planeación del sistema eléctrico nacional.

II.-La generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica, y

III.- La realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, ejecución, operación y mantenimiento del sistema eléctrico nacional.

Artículo 5o.- La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal dictará, conforme a la política nacional de energéticos, las disposiciones relativas al servicio público de energía eléctrica, que deberán ser cumplidas y observadas por la Comisión Federal de Electricidad y por todas las personas físicas o morales que concurran al proceso productivo

Artículo 7o.- La prestación del servicio público de energía eléctrica que corresponde a la Nación, estará a cargo de la Comisión Federal de Electricidad, la cual asumirá la responsabilidad de realizar todas las actividades a que se refiere el artículo 4o.

Artículo 8o.- La Comisión Federal de Electricidad es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio

Artículo 9o.- La Comisión Federal de Electricidad tiene por objeto:

- I.- Prestar el servicio público de energía eléctrica en los términos del artículo 4o. y conforme a lo dispuesto en el artículo 5o.
- II.- Proponer a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal los programas y proyectos a que se refiere el artículo 6o.
- III.- Importar y exportar, en forma exclusiva, energía eléctrica.
- IV.- Formular y proponer al Ejecutivo Federal los progra

mas de operación, inversión y financiamiento que a corto, mediano o largo plazo, requiera la prestación del servicio público de energía eléctrica.

V.- Promover la investigación científica y tecnológica nacional en materia de electricidad.

VI.- Promover el desarrollo y la fabricación nacional de equipos y materiales utilizables en el servicio público de energía eléctrica.

VII.- Celebrar convenios o contratos con los Gobiernos de las Entidades Federativas y de los Municipios o con entidades públicas y privadas o personas físicas, para la realización de actos relacionados con la prestación del servicio público de -- energía eléctrica.

VIII.- Efectuar las operaciones, realizar los actos y -- celebrar los contratos que sean necesarios para el cumplimiento de su objeto, y

IX.- Los demás que fijen esta ley y sus reglamentos.

Artículo 36.- La Secretaría de Energía, Minas e Industria Para estatal, oyendo a la Comisión Federal de Electricidad, otorgará permiso de autoabastecimiento de energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales individualmente consideradas. Para el otorgamiento de estos permisos será condición indispensable la imposibilidad o la inconveniencia del suministro por parte de la

Comisión Federal de Electricidad. Se exceptúan de dicha condición los casos previstos en los siguientes párrafos de este artículo; así como cuando se trate de plantas generadoras destinadas exclusivamente al uso de emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.

Igualmente la Secretaría otorgará los permisos de autoabastecimiento correspondiente, cuando se satisfagan los siguientes requisitos:

- a) Que con la generación de la planta de autoabastecimiento se incremente la eficiencia de transformación de energéticos primarios, con base en la producción simultánea de otros energéticos secundarios o en la utilización de fuentes de calor provenientes de procesos industriales
- b) Que el proceso utilizado en la generación de electricidad produzca otro u otros energéticos secundarios requeridos para la satisfacción de las necesidades del solicitante, como vapor o bien que utilice energéticos obtenidos durante algún proceso industrial, como gas de alto horno y que la electricidad se destine a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales, individualmente consideradas, poniéndose los excedentes a disposición de la Comisión Federal de Electricidad en los términos del inciso d) de este artículo;
- c) Que las obras e instalaciones para la producción de energía eléctrica se realicen y operen de acuerdo a las especificacioo

nes técnicas que expida la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, atendiendo a las propuestas de la Comisión Federal de Electricidad, y

d) Que el solicitante del permiso convenga en otorgar las facilidades necesarias a la Comisión Federal de Electricidad, a fin de que ésta pueda utilizar la electricidad que resultare en exceso de la que demande el autoabastecimiento, siempre que pueda ser aprovechada por dicho Organismo para los fines que constituyen su objeto, en condiciones técnicas y económicas adecuadas, y - sin detrimento o interferencia de los procesos de producción - del permisionario, de conformidad con los estudios y programas que al efecto se aprueban.

En los citados convenios que celebre la Comisión Federal de -- Electricidad con los solicitantes de permisos, deberá pactarse la retribución que corresponda por la aportación de la electricidad que resultare en exceso de la indispensable para autoabastecimiento.

Los convenios mencionados se someterán a la Secretaría, en cada caso, para su aprobación, la cual deberá vigilar además el exacto cumplimiento de los mismos por ambas partes.

Artículo 39.- La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal inspeccionará y ejercerá vigilancia en toda obra o instalación destinada al autoabastecimiento de energía eléctrica.

Programa Nacional de Energéticos 1984-1988

El tema de la investigación queda inscrito en los siguientes con
ceptos:

Objetivos

- 1.- Garantizar la autosuficiencia energética presente y futura - del país. Este constituye el objetivo primordial del sector y consiste en asegurar la satisfacción de las necesidades de energía del país, al menor costo posible, con base fundamentalmente en nuestros propios recursos, procurando la ampliación del horizonte energético, para reforzar la soberanía na
cional.
- 2.-Coadyuvar al desarrollo económico a través de la aportación de divisas e ingresos fiscales y mediante la orientación - del poder de compra del sector. Por la ubicación estratégica de éste en la economía nacional, el presente objetivo se asocia al propósito de lograr una economía fuerte. El sector energético es uno de los pivotes del financiamiento del desarrollo y el principal demandante de bienes de capital, insumos industriales y servicios, por lo que su vinculación eficaz y creciente al aparato productivo le permitirá apoyar el desarrollo industrial y promover su modernización.
- 3.-Coadyuvar al desarrollo social, ampliando la cobertura y evitando desequilibrios regionales y ambientales. El sec--
tor reforzará su contribución al desarrollo social a tra--
vés del apoyo a las actividades prioritarias; de la incor-

- poración de un número creciente de núcleos dispersos de población rural y de zonas urbanas rezagadas a los beneficios que conlleva la disponibilidad de energía, y participando en la promoción de un desarrollo regional equilibrado y de la preservación del medio ambiente. Este objetivo se asocia al propósito nacional de construir una sociedad igualitaria.
- 4.- Ahorrar energía y promover su uso eficiente. Este objetivo busca modificar los patrones estructurales vigentes en el uso de la energía, promoviendo su utilización eficiente en la producción, distribución y utilización final, sin afectar la actividad productiva ni la calidad de vida.
 - 5.- Alcanzar un balance energético más racional.- Como condición para una transición energética ordenada y para la preservación de recursos no renovables, se requiere diversificar las fuentes y reducir la participación de los hidrocarburos en la oferta de energía
 - 6.- Fortalecer la autodeterminación y el avance tecnológico. La autodeterminación tecnológica es el elemento fundamental de una nación independiente y apoyo para una economía fuerte y una sociedad igualitaria, por lo cual el sector buscará reafirmar la autodeterminación tecnológica de la industria energética, de la planta abastecedora de bienes de capital e insumos y apoyar el desarrollo de tecnologías de punta y aprovechar fuentes alternas.
 - 7.- Lograr un sector energético más eficiente y mejor integrado. Esto implica aumentar la productividad y la eficiencia admi

nistrativa, técnica y operativa de las empresas del sector, con apego a la disciplina presupuestal y a los principios de austeridad en el gasto implantados por el Gobierno Federal.

- 8.- Contribuir al fortalecimiento del mercado mundial de hidrocarburos. De acuerdo a los intereses nacionales, se contribuirá al fortalecimiento del mercado mundial de los hidrocarburos y se defenderá el justo valor de nuestros recursos, a través del reforzamiento de los mecanismos de coordinación y cooperación internacional de la materia....

"Los objetivos enunciados expresan las aspiraciones básicas del sector y configuran su imagen-objetivo, apuntando a un escenario en el que no se desperdicie energía y en donde la composición de la oferta no ponga al país en una situación inflexible y vulnerable. Sin embargo, es evidente que hay objetivos que sólo podrán consolidarse en el largo plazo; la mayoría están vinculados de tal forma que el avance en unos determina lo que se puede hacer en otros; finalmente, hay objetivos que, en un momento dado, pueden ser competitivos entre sí."

" Estrategia "

Para alcanzar los objetivos del Programa se ha definido una estrategia que se enmarca en la del Plan Nacional de Desarrollo. La estrategia energética busca aumentar la capacidad de respuesta del sector con un margen suficiente de maniobra para que, en los plazos mediano y largo, puede satisfacer los crecientes requerimientos internos de energía, mantener una plataforma de exportación y ampliar su apoyo al resto de la economía.

El eje central en el que descansa la estructura del Programa está constituido por las orientaciones estratégicas de productividad, ahorro de energía y diversificación. Son éstas las que -- permitirán aumentar el margen de maniobra del sector, economizar recursos para orientarlos al cambio estructural, ampliar -- las posibilidades de generación de divisas en el futuro y apoyar en forma más amplia y congruente con las necesidades del país, al resto de las actividades y al esfuerzo de desarrollo de la Nación.

"Ahorro de energía"

El ahorro y uso eficiente de la energía puede producir resultados importantes, incluso desde el corto plazo. Esta orientación estratégica recibe la más alta prioridad, porque apoya el esfuerzo de productividad de toda la economía, mejora la competitividad de nuestros productos en los mercados internacionales, amplía el horizonte energético y libera recursos para decidir su uso más eficiente en función de las necesidades del país.

La estrategia de ahorro de energía tendrá un alcance nacional, pues incluirá al conjunto de los sectores productivos y sociales y cubrirá a todo el país. Las primeras acciones se orientarán a eliminar el uso irracional y el desperdicio de energía, lo cual no implica inversiones significativas sino un esfuerzo de eficiencia por parte de todos los usuarios de la energía. Posteriormente se promoverá el cambio tecnológico para hacer un uso menos intensivo y más eficiente de la energía, mediante la introducción de nuevos modos de producción que se están implantando en las sociedades más avanzadas y que a pesar de su elevado costo aparente; representan, a mediano y largo plazos, una indiscutible ventaja económica y social.

La política de precios y tarifas será un factor importante en los resultados que se alcancen en la materia. En efecto, no será posible que las empresas y las personas realicen esfuerzos de ahorro si no está en juego su propio interés económico en forma sustancial. En la medida en que el propio sector energético y la industria paraestatal en general se cuentan entre los grandes ahorradores potenciales, debe también ponerse atención a los precios de transferencia.

Sin embargo, la estrategia de ahorro no dependerá de los precios y tarifas como instrumento único. Se aplicarán también medidas técnicas, financieras y de comunicación social.

"Diversificación"

Si el ahorro es la orientación estratégica que produce resulta--

dos más importantes a corto plazo, la diversificación es la ruta hacia la transición energética ordenada en el mediano y largo plazos. En la medida en que la diversificación actúa en el margen, es decir, sobre los incrementos de capacidad, sus efectos son más lentos, pero además de producir un ahorro adicional considerable de hidrocarburos, aumenta la flexibilidad tecnológica de la planta productiva y reduce la vulnerabilidad que significa depender de una sola fuente de energía primaria.

La sustitución de fuentes primarias debe llevarse a cabo en todos los sectores, si bien la rama de electricidad, por sus características particulares, deberá realizar las principales acciones en la materia. El esfuerzo se centrará en la reducción de la participación relativa de las termoeléctricas convencionales; paulatinamente se irá ampliando el número de las carboeléctricas, hidroeléctricas, nucleoeeléctricas, plantas duales (carbón y combustible), y en menor escala las geotérmicas.

Como parte de las tareas de diversificación de fuentes para la generación de electricidad, se promoverá el aprovechamiento del calor de proceso mediante la autogeneración en diversas ramas industriales, de acuerdo con lo que señala la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Por su potencial, el énfasis en este sentido se hará en las industrias petrolera, petroquímica, siderúrgica, del azúcar, química, del papel y, en general, en las industrias de proceso.

Diversificar fuentes y ahorrar energía son dos caminos que emprendemos con retraso. Desde el embargo petrolero en 1973, los

países industrializados han logrado avances significativos en ambas direcciones y tienen vastas experiencias que son factible aprovechar. Estas experiencias se extienden incluso a las fuentes no convencionales, cuyo desarrollo tecnológico habrá de fortalecer decididamente al país. No se trata de emprender caminos utópicos sino rutas conocidas que han demostrado su efectividad y su importancia para mejorar la eficiencia de toda la economía"

Conclusión

Se desprende de las citas anteriores que el marco legal establecido por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y el Programa Nacional de Energéticos, son adecuados para estimular la producción de electricidad en instalaciones privadas - empleando esquemas de cogeneración para lograr resultados semejantes a los observados en el extranjero.

Sin embargo, es necesario revisar el texto del inciso b) del artículo 36 de la Ley para permitir la comercialización del vapor o calor de desperdicio, pues la limita al autoconsumo.

b) Aspectos Técnicos.

El propósito de este apartado es presentar algunos comentarios breves, en torno a: la eficiencia de transformación de energéticos primarios para producir electricidad en instalaciones industriales y en la Comisión Federal de Electricidad; la eliminación de pérdidas por transmisión derivada del autoabastecimiento eléctrico y varios aspectos correspondientes a la confiabilidad del suministro, encaminados a determinar ciertas referencias que permitan evaluar la bondad de los posibles proyectos de cogeneración industrial.

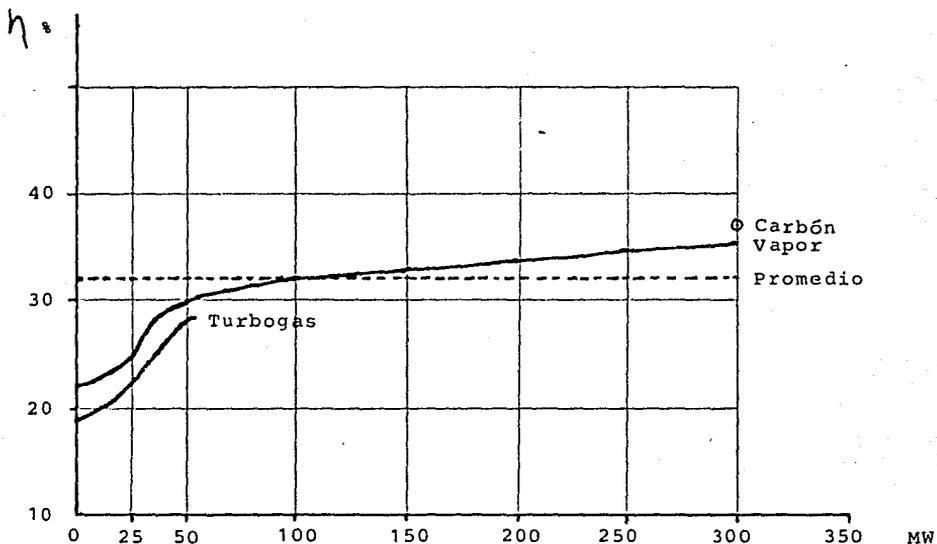
Eficiencia de Transformación de Energéticos Primarios

A este respecto debe manifestarse que la ley no aclara cuál es el nivel mínimo de eficiencia o el incremento que debe lograrse en los proyectos de cogeneración industrial. Sin embargo, - esta ambigüedad puede dar lugar a minimizar los posibles beneficios al país.

En este sentido es conveniente tomar en cuenta que la eficiencia global del servicio público oscila alrededor del 31% y la eficiencia de las unidades de 300 ó 350 Mw es del 36 al 38 %. No obstante debe recordarse que durante la demanda base se emplean las unidades de mayor capacidad, más eficientes, y las de menor capacidad, menos eficientes, en los picos.

La gráfica del cuadro 3 muestra la eficiencia correspondiente a diversos tipos de central, según la capacidad de las unida-

des. Ahí se señala la eficiencia global o promedio obtenida en la operación de la red pública



Cuadro 3. Eficiencia Térmica para producir Electricidad

Fuente: Elaborado en base a:
Informe de Operación 1983
Comisión Federal de Electricidad y
Modern Power System. Feb. 1985

Por otra parte, tomando en cuenta que las unidades instaladas en los autoprodutores generalmente son menores de 50 Mw, su eficiencia en esquemas convencionales es considerablemente baja.

Pérdidas por Transmisión

Este es un parámetro completamente a favor del autoabastecimiento, y si éste se realiza conforme a la cogeneración, las ventajas para el país son mayores.

Desde luego, ante la dificultad práctica de evaluarlo analíticamente, solamente puede estimarse que es del orden del 1 al 3% en términos de eficiencia energética.

Confiabilidad del suministro de electricidad

El cuadro 2 muestra que la demanda de las industrias estudiadas se satisface por medio del autoabastecimiento en combinación, en mayor o menor grado, con el servicio público.

Con relación al autoabastecimiento, se observa que la cogeneración no está saturada y además, el factor de planta es sensiblemente bajo en la mayoría de los casos.

En las compras o la red queda implícito que existe una potencia disponible todo el año, empleada para satisfacer la demanda base o los picos, la cual involucra un margen de reserva - por parte de la red pública.

Se desprende entonces que el suministro de energía eléctrica en esas industrias se lleva a cabo en términos de esquemas redundantes, y si bien, la continuidad de los procesos lo aumenta, es conveniente analizar la posibilidad de lograr, al menos, la autonomía de suministro, con la misma confiabilidad.

Relaciones Interlaborales

Los productores de electricidad se han clasificado en público, privado y mixto. Esta última figura se originó en un tiempo cuando la red pública no cubría ciertas localidades, y se aprovechó la oportunidad de que algunas industrias como Fundidora de Monterrey, la Compañía Minera México y otras más, contaban o cuentan con excedentes de electricidad.

Tal como lo especifica la ley, ellos no han prestado el servicio público sino que han vendido la energía a la Comisión Federal de Electricidad en bloque, y ésta vende y cobra a los consumidores.

En ninguno de estos casos se ha presentado algún conflicto laboral entre los trabajadores de esas empresas y los de la CFE por invasión o sustitución de funciones de trabajo.

Esta situación puede manejarse como argumento para afirmar que la interconexión eléctrica seguirá siendo factible, en términos laborales

Lo anterior también es aplicable a los casos de intercambio de energía eléctrica.

Conclusión

Puede concluirse brevemente que los aspectos técnicos no presentan inconvenientes o problemáticas particulares que puedan resultar fundamentales para limitar el desarrollo de sistemas de cogeneración.

Sin embargo, es necesario establecer niveles de eficiencia de transformación de energéticos y de confiabilidad del su ministro, que sirvan como referencia para determinar las ventajas para el país.

Estos parámetros deben tener una vigencia razonable y ser de fácil aplicación.

c) Aspectos Económicos

La conservación de energía se define como la eficiencia adicional en el uso energético que puede ser justificado principalmente en mérito a consideraciones económicas.

En otras palabras, el incentivo primordial para la conservación de energía es, en su amplio sentido, el beneficio económico derivado de las mejoras logradas en la utilización de la energía.

En términos generales, la inversión y todos los gastos asociados a un proyecto de cogeneración o autoabastecimiento eléctrico deben quedar justificados por las ganancias o ahorros esperados durante su vida útil.

Al respecto es necesario analizar las posibilidades de desarrollo de la cogeneración industrial de acuerdo al interés económico que represente al empresario industrial, a Petróleos Mexicanos, a la Comisión Federal de Electricidad y a la economía nacional, debido a que algunas variables económicas tienen una valía relativa ante cada uno de ellos.

Sin embargo, es claro que, el enfoque fundamental es el correspondiente a la economía del país.

Ahora bien, es obvio que cada sistema de cogeneración induce su propio planteamiento económico y, por tanto, cada uno requiere de una evaluación individual.

No obstante , en los proyectos de cogeneración con producción de electricidad el objetivo es demostrar que el Kwh producido en las instalaciones industriales es más barato que el suministrado por la red pública.

A continuación se consignan algunos conceptos que de alguna manera tienen, y seguramente tendrán, influencia en el desarrollo futuro de la cogeneración industrial.

Autoproducción

Es evidente que una situación que no presente beneficios económicos al empresario privado, no merecerá su simpatía. En un sentido inverso, promoverá las acciones que le ofrezcan una ventaja a su favor.

Desde este punto de vista un factor determinante para definir la conveniencia del autoabastecimiento es el relativo a las pérdidas por fallas en el suministro eléctrico. Esto es, en varias de las solicitudes para obtener permisos de autoabastecimiento eléctrico, incluyen en su análisis económico el valor de las pérdidas sufridas en producción, materias primas, mano de obra, etc., derivados de la falta de suministro o por baja calidad del servicio público de electricidad. Por otra parte, cabe esperar que el precio de los energéticos, los subsidios, exenciones de impuesto y otros estímulos fiscales evolucionarán de tal modo que permitirán al empresario --

privado seguir encontrando atractivos económicos en la cogeneración.

Petróleos Mexicanos.

Esta empresa juega dos papeles en el contexto de referencia: como particular y como instrumento del estado a través del cual se llevan a cabo diversas políticas.

Como empresa no tiene un móvil económico explícito, pues los combustibles que consume y el precio de sus productos están fuera de una economía de mercado.

Como instrumento del estado, el motivo principal para revisar e intensificar la cogeneración en sus instalaciones, se encuentra en el deber de utilizar los recursos energéticos del país permanentemente con racionalidad.

Comisión Federal de Electricidad.

Por su propia concepción, esta empresa del estado requiere de consideraciones especiales para evaluar el impacto de la cogeneración industrial en su economía, pues, tanto el combustible que consume como la electricidad que produce están fuera de un mercado abierto. En todo caso, aumentar la oferta de electricidad del país, permitirá que la Comisión suministre el servicio a usuarios no atendidos.

No obstante, deben emplearse sus resultados de operación como nivel de referencia para evaluar la conveniencia de produ

cir electricidad en las plantas industriales cogenerativas.

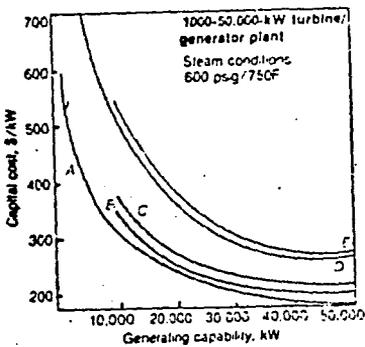
Economía Nacional.

Para evaluar el impacto de la cogeneración industrial en la economía del país, se pueden manejar dos aspectos básicos, uno en contra y otro a favor, que son:

- el problema de la economía de escala, y
- el costo por falla en el suministro de electricidad.

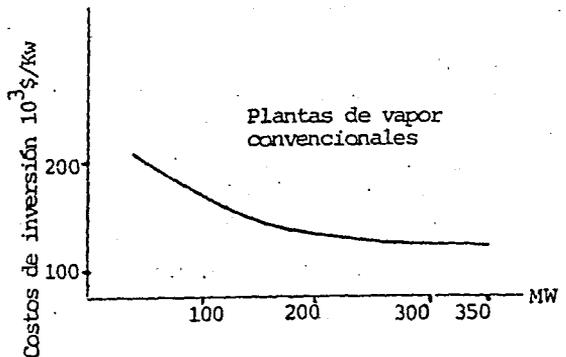
Con respecto a la economía de escala, el cuadro tres señala que las unidades de menor tamaño son menos eficientes, y, por tanto, sus costos de operación son mayores.

En cuanto a los costos de inversión, los cuadros 4 y 5 indican que los costos por unidad de potencia aumentan a medida que se reduce la capacidad de las unidades generadoras.



Fuente: Compare total costs of Cogeneration-system alternatives. Power, October 1984

Cuadro 4



Fuente: Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. 1984. Comisión Federal de Electricidad.

Cuadro 5

Los gastos de mantenimientos se comportan de una manera semejante.

Como se observa, para reducir el consumo de combustibles --- (hidrocarburos) en la producción de electricidad en las instalaciones industriales, se requiere invertir en equipos que, por ser de baja potencia, sus costos de inversión y operación son mayores que los de la Comisión Federal de Electricidad.

Entonces, a medida que disminuye la capacidad nominal de los equipos, el beneficio económico neto para el país, obtenido por el incremento en la eficiencia de transformación de los energéticos primarios convencionales, se reduce.

Por otra parte, las pérdidas económicas ocasionadas por fallas en el servicio público de electricidad a las industrias, se refleja en la economía nacional.

Así, la eliminación de esos perjuicios al mejorar la oferta y calidad del suministro, se traduce en utilidades al país.

Ahora bien, con el propósito de encontrar una respuesta al problema de evaluar la bondad de producir energía eléctrica por medio de la cogeneración industrial, a continuación se presenta una metodología alternativa.

El planteamiento es determinar la relación entre la eficiencia térmica y potencia eléctrica de unidades industriales que equiparen el costo total del Kwh producido por la Comisión Federal de Electricidad.

El punto de partida es establecer y desglosar el costo total del Kwh producido por la Comisión Federal de Electricidad -- (CFE) y por el particular (p), empleando los costos de oportunidad para la economía nacional.

Para ambos se tiene la siguiente ecuación

$$C^{1/} = I + CO + O + M + F$$

Donde: C = Costo total

I = Costo inversión

CO= Costo combustibles

O = Costo operación

M = Costo mantenimiento

F = Costo falla de suministro

La diferencia de costos entre estos dos entes es la valía económica para el país: esto puede expresarse como la diferencia entre los componentes respectivos

$$C_{CFE} - C_p = (I_{CFE} - I_p) + (CO_{CFE} - CO_p) + (O_{CFE} - O_p) + (M_{CFE} - M_p) + (F_{CFE} - F_p)$$

En esta expresión se pueden simplificar los costos por falla de suministro, pues tienen el mismo valor para el particular y el país.

Agrupando los costos de operación y mantenimiento (por disponibilidad de información), y haciendo $C_{CFE} - C_p = 0$, para encontrar

1/ Costo nivelado. Se define como el valor presente de los costos ocurridos durante la vida útil de un proyecto.

el costo de indiferencia, se tiene:

$$(I_{CFE} - I_p) + (CO_{CFE} - CO_p) + (OM_{CFE} - OM_p) = 0$$

Los valores correspondientes a la CFE del costo nivelado de una planta termoeléctrica convencional de 350 MW, factor de planta de 0.7, eficiencia térmica del 35%, en \$/Kwh, referidos a 1984, son: .

$$I_{CFE} = 2.08$$

$$CO_{CFE} = 6.39$$

$$OM_{CFE} = 0.15$$

Sustituyendo datos y reagrupando se obtiene:

$$I_p + CO_p + OM_p - (2.08 + 6.39 - 0.15) = 0$$

Por otra parte, existen ciertas ecuaciones empíricas que relacionan estos costos con el tamaño de las unidades. Estas son:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{KW_2}{KW_1} \right)^{0.25} \text{ ----- (a)}$$

$$\frac{OM_1}{OM_2} = \left(\frac{KW_2}{KW_1} \right)^{0.67} \text{ ----- (b)}$$

Donde:

I = inversión

OM = operación y mantenimiento,
excepto combustibles.

KW = Potencia eléctrica

1 = unidad pequeña

2 = unidad mayor

Con la nomenclatura de este trabajo, se tiene:

$$I_P = I_{CFE} \left(\frac{KW_{CFE}}{KW_P} \right)^{0.25} \text{ ----- (a')}$$

$$OM_P = OM_{CFE} \left(\frac{KW_{CFE}}{KW_P} \right)^{0.67} \text{ ----- (b')}$$

Empleando estas expresiones y los datos correspondientes, queda:

$$2.08 \left(\frac{350}{KW_P} \right)^{0.25} + CO_P + 0.15 \left(\frac{350}{KW_P} \right)^{0.67} - 8.62 = 0$$

Con la ecuación anterior se puede obtener la potencia eléctrica que corresponde a determinado costo por consumo de combustible en un proyecto de cogeneración industrial.

Al respecto, para efectos del análisis, el costo de combustible puede ser manejado a través de la eficiencia térmica o por medio de la participación de combustibles residuales.

El cuadro 6 muestra la potencia correspondiente al costo de operación que resulta de suponer diferentes niveles de eficiencia térmica empleando combustóleo.

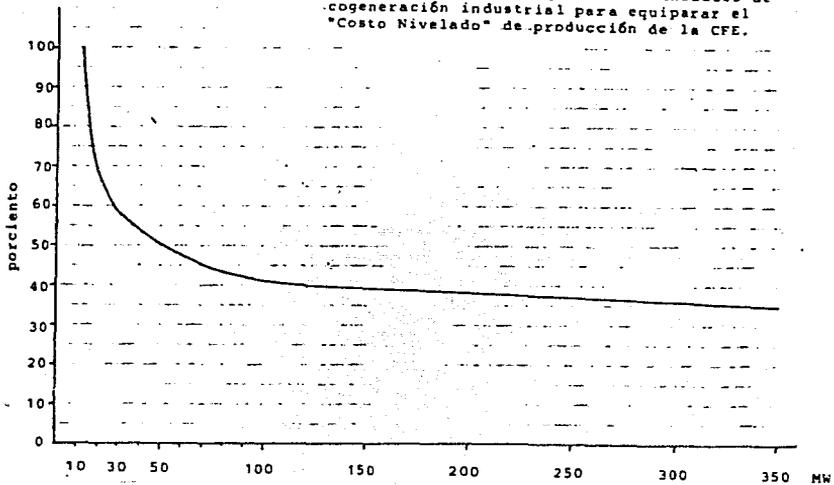
El último renglón representa el caso relativo al empleo de combustibles residuales exclusivamente; es decir, cuando $CO_P = 0$.

Las gráficas 7 y 8 consignan la eficiencia térmica y el costo relativo requeridos para que las unidades de cogeneración industrial resulten atractivas a la economía nacional.

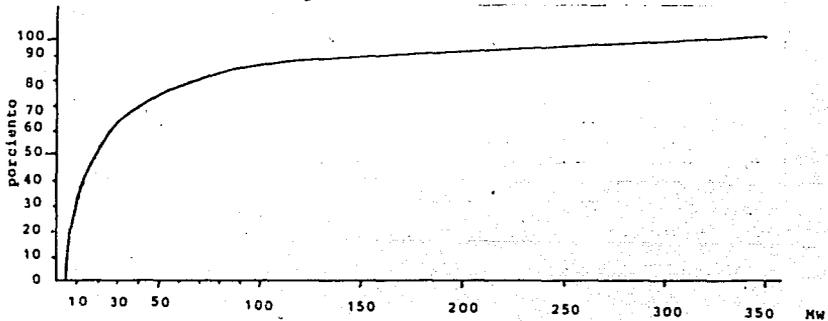
Cuadro 6.- Parámetros requeridos en unidades de cogeneración industrial para producir electricidad al "costo nivelado" de la CFE.

Eficiencia %	Kcal requeridas	Costo del combustible \$/KWh	Potencia MW
35	2457	6.39	350
40	2150	5.59	120
60	1433	3.72	27
70	1229	3.19	18
80	1079	2.79	15
90	955	2.48	13
100	860	2.23	11
		0	5

CUADRO 7. Eficiencia térmica requerida en unidades de cogeneración industrial para equiparar el "Costo Nivelado" de producción de la CFE.



CUADRO 8.- Costo relativo del combustible requerido en unidades de cogeneración industrial para equiparar el "Costo Nivelado" de producción de la CFE.



De las gráficas anteriores se desprende que:

- Es posible, económicamente hablando, emplear unidades de baja potencia eléctrica, a partir de la cogeneración industrial
- La participación de combustibles residuales permite la operación de unidades aún más pequeñas.

Conclusión

Tomando en cuenta las consideraciones expuestas en torno al impacto que puede tener la cogeneración industrial en las diferentes esferas de su ámbito y de acuerdo a los resultados del procedimiento de evaluación económica, con datos relativos a la generación de electricidad usando combustóleo, se puede establecer como conclusión globalizadora que:

- 1) a pesar de que existe un problema de economía de escala, el incremento en la eficiencia térmica lograda por la cogeneración, justifica el empleo de unidades de baja potencia eléctrica en México, y
- 2) queda manifiesto que el aprovechamiento de combustibles -- residuales vuelve más atractivo el autoabastecimiento eléctrico en términos de la cogeneración.

Análisis de Sensibilidad

Los resultados de la sección anterior están sujetos a las varia ciones que experimenten los parámetros propios y externos que determinan la competitividad del Kwh generado en las instalacio nes de autoabastecimiento

A continuación se discute la sensibilidad de éste a otros pará- metros básicos distintos a la eficiencia térmica de conversión y al empleo de combustibles residuales

Parámetro	Comentario
Costo del Kwh generado en CFE	A medida que se instalen unidades de mayor tamaño en la CFE o mejore su eficiencia, el Kwh generado será más barato. -- Los proyectos de autoabastecimiento <u>debe</u> rán mejorar su eficiencia y/o aumentar su potencia de generación
Factor de Planta en autoabastecimiento	El Kwh autogenerado será más barato a medida que aumenta el tiempo de utilización del equipo instalado
Precio internacional del combustible	La tendencia a la baja reducirá el <u>atracc</u> tivo de autogeneración en instalaciones de baja potencia y viceversa

d) Pronóstico de la evolución de la capacidad eléctrica asociado a la cogeneración industrial

El propósito fundamental de este capítulo es discutir brevemente la posible evolución de la capacidad eléctrica instalada con esquemas de cogeneración en las industrias del país, durante los próximos 25 años^{1/}

Para tal efecto se abordan dos métodos

1.- Correlación en serie de tiempo

2.- Técnica Delphy

Como se verá posteriormente, a lo que se pretende llegar con la aplicación de ambos métodos es a establecer un rango de valores de potencia eléctrica, determinado por la aplicación de métodos estadísticos, calificados por los juicios de varios profesionistas expertos en la materia.

Correlación en serie de tiempo.

En el cuadro 9 se muestran los datos de la capacidad eléctrica total^{2/} con permiso oficial de autoabastecimiento, instalada en México.

Cuadro 9.
Autoabastecimiento termoeléctrico

Año	MW
1970	1 040
1975	1 147
1978	1 347
1979	1 354
1980	1 623
1981	1 723
1982	1 750
1983	2 415
1984	2 523

Fuente: Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

^{1/} Pronóstico al año 2010, partiendo de los datos a 1984

^{2/} Vapor y turbinas de gas

Cabe mencionar que esta serie incluye las plantas eléctricas permisionadas para usos distintos al industrial.

Comparando el dato de 1984 presentado en el cuadro 2, se observa que el uso industrial representa el 91 %.

Ahora bien, para llevar a cabo el pronóstico aludido, se consideró que:

- 1.- La potencia eléctrica instalada con esquemas de cogeneración presentará en el futuro la misma tendencia que la potencia eléctrica total mostrada en el cuadro.
- 2.- Todas las unidades de generación de electricidad quedarán instaladas en términos de la cogeneración.

Bajo estas hipótesis, el modelo matemático queda:

$$PE(t) = PE(84)e^{\alpha t}$$

donde PE = Potencia eléctrica en el año t,

donde t=1(1985), 2(1986)... 26(2010)

PE(84) = Potencia eléctrica instalada en plantas industriales de proceso en 1984

Sustituyendo valores queda:

$$PE(t) = 2292 e^{0.06t}$$

En el cuadro siguiente se presenta la extrapolación

Cuadro 10

Pronóstico de potencia eléctrica instalada
con esquemas de cogeneración industrial

Años	MW
1985	2 429
1990	3 251
1995	4 350
2000	5 822
2005	7 792
2010	10 427

Técnica Delphy

Consiste en recabar las opiniones personales de expertos en la materia, a través de una encuesta.

Vale la pena indicar que con este método, cada experto toma en cuenta y percibe en cierta forma, los diversos aspectos relacionados con el desarrollo de la capacidad eléctrica de servicio privado, como son: el desarrollo económico, las innovaciones tecnológicas y el medio -- ambiente, las políticas tarifarias, energéticas, fiscales, etc.

Los resultados de la encuesta son:

- 1.- Se espera que la cogeneración se intensificará paulatinamente en el futuro.
- 2.- Se estima que la capacidad eléctrica de autoabastecimiento no pasará de los 5 000 MW en el año 2000 y 6000 en el 2010, incluyendo todos los tipos de planta.
- 3.- Se considera que los niveles de generación de electricidad en autoabastecimiento, a lo mucho, alcanzarán para satisfacer el consumo total de los permisionarios.
- 4.- Se piensa que más bien pocos serán los permisionarios que tengan interés en comercializar sus excedentes de energía eléctrica con la Comisión Federal de Electricidad.
- 5.- Como máximo, se espera que sean suministrados a la red pública del orden de 2500 MW al año 2010. }

Conclusiones

Las publicaciones circulantes que muestran los resultados de las medidas de conservación y uso eficiente de la energía, impuestas en los países desarrollados, ante la necesidad de reducir su dependencia del petróleo extranjero, señalan que a través de la combinación de procesos térmicos para producir potencia eléctrica (o mecánica) con otro tipo de procesos térmicos (generación y/o demanda de vapor o calor), empleando el calor de desperdicio de uno como la entrada de energía del otro, se puede utilizar entre 10 y 30 por ciento menos de combustible para producir una cierta cantidad de electricidad o energía térmica, dependiendo de la configuración y aplicaciones involucradas.

Entre los procesos térmicos que demandan vapor o generan calor de desperdicio se encuentran los relativos a la refinación del petróleo, la petroquímica, la siderúrgica, los ingenios azucareros, las fábricas de papel, textiles y otras más.

Por otra parte, se ha demostrado que la aplicación de esta técnica proporciona beneficios económicos al empresario privado, pues el suministro de electricidad o energía térmica le resulta más barato y además elabora sus productos con menos energía; a la empresa eléctrica, debido a que disminuye su carga, y la reserva correspondiente, también mejora la economía y confiabilidad de la red, sobre todo cuando la industria privada transfiere sus excedentes energéticos a la red; y a la economía nacional porque reduce la compra de petróleo y mejora el índice que relaciona el valor agregado a la producción por unidad de energía consumida.

Un aspecto interesante es la formación de mercados de calores de desperdicio y la integración de sistemas cogenerativos con la asociación de corporaciones.

Como se observa, el contexto general es aplicable al caso de México, pues cuenta con industrias de las ramas mencionadas, en principio susceptibles de revisión en sus aspectos energéticos, debido entre otras consideraciones, a que la política -- energética vigente está orientada hacia el ahorro y uso eficiente.

El beneficio económico que obtendría el país con este procedimiento, sería el valor de oportunidad de poder colocar los volúmenes ahorrados de combustibles en el mercado internacional o reservarlos para su empleo futuro internamente.

Con estos antecedentes, se consideró de un atractivo especial -- estudiar la posibilidad de obtener electricidad adicional en los términos de referencia y discutir las ventajas que reportaría al país producirla en las instalaciones industriales.

Para cumplir con el objetivo propuesto se procedió a establecer en primer lugar, el diagnóstico del estado que guarda la cogeneración actualmente en las industrias de proceso, por medio -- de la recopilación de los diagramas representativos disponibles en la literatura especializada y a localizar, para comparación, los esquemas reales de proceso donde quedarán incluidos los sis temas de suministro de servicios auxiliares como son: vapor, -- calor y electricidad (autoabastecimiento y compras).

En este sentido, durante la investigación se detectaron 159 plantas industriales, las cuales fueron agrupadas en 9 ramas que son: azúcar, refinación de petróleo, petroquímica básica, siderúrgica, química, papel, cerveza, minería, textil y, como caso particular, la planta eléctrica del Grupo Industrial.

Cabe mencionar que el conjunto de industrias analizadas cubrió - prácticamente el universo de lo que puede llamarse la gran industria.

La fuente primaria de información fue el Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad, de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, complementándose con diversos documentos elaborados por las propias empresas estudiadas, por organismos conexos y con trabajos afines desarrollados por autores externos.

Ahora bien, de acuerdo a los resultados de la investigación, puede decirse que, a partir del procedimiento señalado y a la luz de la información disponible, la situación que priva es la siguiente:

1.- Las plantas de proceso que operan en el país son similares a las instaladas en el extranjero y todas incluyen esquemas de cogeneración en mayor o menor intensidad en los sistemas de servicios auxiliares de calor, vapor y fuerza.

A este respecto, parece que la política de diseño original en varios procesos, está orientada a saturar las posibilidades de obtener vapor para emplearlo como potencia mecánica

ca en turbinas que accionan compresores, sopladores, ventiladores, bombas, y otros equipos; en segundo lugar está la producción de electricidad. Es conveniente señalar que es muy común encontrar instalaciones donde los equipos turbomotrices operan como reserva rodante de motores eléctricos acoplados a ventiladores de calderas, bombas de condensados, etc.

Desde el punto de vista del medio de trabajo en los ciclos Rankine, no se detectaron otros fluidos distintos al agua.

- 2.- Sin embargo, la falta de una política explícita sobre el uso eficiente de energía, las diversas interpretaciones a la Ley del Servicio Público de Electricidad para el otorgamiento de permisos de autoabastecimiento, las modificaciones a las plantas de proceso y la estructura de los precios internos de los energéticos entre otros factores, provocaron un desarrollo heterogéneo entre las distintas ramas industriales.

Lo anterior puede agruparse en aspectos generales y particulares.

En el primer caso, y con respecto al ámbito eléctrico, se observa:

- exceso de capacidad instalada en autoabastecimiento pues se determinó un factor de planta bajo.
- respaldo redundante, compuesto por la reserva rodante propia más la conexión a la red pública, que también tiene una reserva asignada. Casi todas las plantas compran energía eléctrica a la Comisión Federal de Electricidad.

- la capacidad nominal de las unidades de generación instaladas para autoabastecimiento varían entre unos cientos hasta 50 000 KW
- Gran parte de los permisos de autoabastecimiento se han otorgado en virtud a que los solicitantes incluyen en su evaluación económica el costo provocado en su actividad por fallas en el suministro, si únicamente dependieran de la red pública. Esto contrarresta el efecto negativo de emplear unidades de menor capacidad, más costosas que las de la red pública, por unidad de potencia
- aparente desconocimiento de las reformas a la Ley del Servicio Público de Electricidad, por parte de las empresas
- aunque dominan los esquemas en cogeneración, una parte de la autoproducción de electricidad se encuentra instalada en sistemas convencionales, es decir, con turbinas de vapor con condensación y turbinas de gas en ciclo abierto.

En cuanto al mercado de energías residuales, solamente se detectó un caso que lo realiza (PEGI), a pesar de que algunas refinerías de Petróleos Mexicanos están contiguas a centrales termoeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad.

Por lo que toca a ejemplos específicos se tiene:

- En Altos Hornos de México el empleo de calores desperdiciados se practicó desde el inicio de sus operaciones y en 1967 se creó un "Centro de Despacho de Carga" (combustibles y electricidad autogenerada).

- La industria azucarera emplea casi todo el bagazo de caña que produce, complementando con petróleo, para la generación de vapor. La utilización exclusiva de turbinas de contrapresión está generalizado.
- Algunas papeleras reportan el uso de licores de proceso para generar vapor
- Se percibe en Petróleos Mexicanos una tendencia creciente a instalar turbinas de gas en ciclo abierto en sus centros de transformación industrial.

Algunos datos relevantes sobre los aspectos eléctricos de la generación en 1984 se encuentran reunidos en el cuadro 2.

Por otra parte, de acuerdo a esa información, parece posible obtener hasta 7226 Gwh, intensificando la operación de los equipos generadores de electricidad. Adicionalmente, sería conveniente coordinar los esfuerzos de Petróleos Mexicanos y la Comisión Federal de Electricidad para desarrollar ciclos combinados que requerirían entre 345 y 1380 MW adicionales en turbinas de vapor.

Ahora bien, una vez determinados el estado actual de la cogeneración en México y sus potenciales para producir electricidad, es necesario discutir diversos conceptos sobre las posibilidades de homogeneizar, mejorar y sostener su desarrollo en el futuro.

Esto requiere formular un escenario que defina el medio ambiente en que se llevarían a cabo tales acciones. En nuestro caso se cuenta con un contexto general sustentado por las expectati-

Cuadro 2. AUTOABASTECIMIENTO TERMoeLECTRICO

1 9 8 4

Industria	Plantas	Grupos Electrogeneradores				Grado Cogenera ción	Electricidad		Grado Autoabas tecimien	Factor Planta Electric
		Unidades	Potencia Total	Tipo			Genera ción	Consu mo		
	No			No	Vapor Mw	T. Gas			%	Gwh
PETROQUIMICA BASICA ^{1/}	8	28	505	180	325	56	1 461	2 129	69	33
REFINACION DE PETROLEO	7	31	381	361	20	78	1 257 ^{2/}	1 897 ^{2/}	66 ^{2/}	38 ^{2/}
SIDERURGICA INTEGRADA	6	35	424	249	175	88	1 219	2 959	41	33
AZUCAR	68	206	360	360	0	100	450	469	96	14
PAPEL	21	29	189	151	38	100	442 ^e	n.d.	n.d.	27
QUIMICA	27	33	151	148	3	100	821 ^e	n.d.	n.d.	62
MINERIA	14	16	64	64	0	73	129 ^e	n.d.	n.d.	23
CERVEZA	4	11	30	30	0	100	139	n.d.	n.d.	53
TEXTIL	3	3	11	11	0	100	39	n.d.	n.d.	39
PEGI ^{3/}	1	11	177	151	26	100	927	n.a.	n.a.	60
T o t a l	159	403	2 292	1 705	567		6 884	n.d.	n.d.	34

1/ Incluye plantas de tratamiento de gas natural y la Terminal Marítima de Pajaritos, Ver.

2/ Datos de 1981

3/ Planta Eléctrica del Grupo Industrial

e Estimado en base a datos parciales

n.d. No disponible

n.a. No aplicable

vas de crecimiento para alcanzar el desarrollo, dentro del cual se presentarán algunas consideraciones de carácter normativo, legal, técnico y económico. . .

Desde el punto de vista normativo, las perspectivas son alentadoras. Cabe esperar que la política energética se mantenga --- orientada hacia el ahorro y uso eficiente.

En materia legal, solamente la producción de electricidad está reglamentada. Sin embargo, se observa que las reformas a la Ley del Servicio Público de Electricidad son un instrumento de promoción para aumentar la disponibilidad de este energético.

Los aspectos técnicos no serán impedimento si los proyectos se diseñan y operan consistentemente con la filosofía de la cogeneración.

En el ámbito económico, el requisito indispensable es que los proyectos de cogeneración aporten beneficios al país.

Al respecto, para producir electricidad en las instalaciones industriales se debe resolver un problema de economía de escala, pues los costos de inversión y operación por Kwh generado son inversamente proporcionales a la capacidad de generación.

De acuerdo al análisis realizado en este trabajo se puede decir que: a) los proyectos de autoabastecimiento convenientes al país serán aquellos que logren producir electricidad a un costo inferior al "costo nivelado" de las unidades marginales de la Comisión Federal de Electricidad, y b) que la cogeneración aba

te sustancialmente los gastos de combustible, compensando así el incremento en los costos unitarios de inversión derivado del empleo de equipos de capacidad inferior a los de la red pública.

Recomendaciones:

En la inteligencia de que la homogeneización, mejoramiento y sostenimiento del nivel de cogeneración requieren de un estudio casuístico, se sugiere emprender acciones generales orientadas a:

- 1.- Promover el mercado de energías residuales; revisar el párrafo b) del artículo 36 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- 2.- Asignar carácter obligatorio a la cogeneración en las industrias de proceso con participación estatal, de acuerdo a los diversos esquemas experimentados en el extranjero.
- 3.- Establecer la política de precios internos para los energéticos y estímulos para el uso eficiente de la energía, en base a una evaluación de sus repercusiones en la economía nacional.
- 4.- Evitar el relajamiento de los niveles de eficiencia térmica especificados en las solicitudes de permisos de autoabastecimiento de energía eléctrica.
- 5.- Revisar los esquemas de interconexión eléctrica entre las industrias y la red pública para:
 - a) Reducir el excesivo respaldo de potencia, y
 - b) Buscar la autonomía de suministro cuando el autoabastecimiento en cogeneración lo permita.
- 6.- Determinar la eficiencia real de transformación de combustibles a electricidad en las industrias con permiso de autoabastecimiento. La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal debería captar la información relativa al consumo de combustibles, su transformación y destino dentro de esas instalaciones. Al respecto, la Secretaría podría comprometer a los permisionarios para que presentaran su balance de energía periódicamente.

REFERENCIAS GENERALES

Cogeneración. Concepts and Systems. Edison Electric Institute

Standar Handbook for Electrical Engineers. Donald G.Fink, John M. Carrol. 10th Edition. McGraw-Hill Book Company

Centrales de Vapor. G.A.Gaffert. Editorial Reverté. 1954

Steam-Plant Operation. Everett B.Woodruff and Hebert B.Lammers. 4th Edition. McGraw Hill Book Company

Generación Simultánea. Alejandro Campero L., Oscar A.Díaz L. y Francisco Moreno V.-Tesis Profesional.-Universidad Nacional Autónoma de México . 1980

Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. Tomo I, Generación 1984. Comisión Federal de Electricidad. Gerencia de Estudios.

Potencial Fuel Effectiveness in Industry. Elías P.Gyftopoulos, Lazaros J. Lazaridis and Thomas F.Widner Ballinger Publishing Company. Cambridge, Mass.

Uso Racional de la Energía en la Industria Azucarera "La Experiencia Cubana". Luis O.Galvez Taupier. Revista Energética. 4/83 Organización Latinoamericana de Energía

Industrial Energy Conservation. David A.Reay. International - Research and Dvelopment Co. Ltd. Newcastle-upon-Tyne. Pergamon Press

Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Estados Unidos Mexicanos

Guía para el Aprovechamiento de Calor de Desperdicio. NBS -- Handbook 121. E.U.Departamento de Comercio/Oficina Nacional de Normas de Administración Federal de Energía/ Conservación y Medio Ambiente.

Generalidades en torno a la cogeneración. Boletín IIE. Agosto 1979.

James S.Davis. William W.Young. Cogeneration could provide - economic benefits in steam/flood EOR operations Oil and Gas Journal. Marzo 5, 1984

Informe de Operación. Comisión Federal de Electricidad.
Varios años.

Programa Nacional de Energéticos. 1984/1988. Secretaría
de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Estados Uni-
dos Mexicanos.

El petróleo. Petróleos Mexicanos. Varios años.

Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical,
Petroleum and Metals Industries. Marshall Sittig. Noyes
Data Corporation. 1977

Energía mediante vapor, aire o gas. M.H. Severns, H.E.
Degler, J.C. Miles. Editorial Reverté, S.A. 1973

Energy Technology Hand Book. Considine

Standar Handbook for Mechanical Engineers's. Mark

Industrial Power System Handbook. Beeman

Petroleum Processing Handbook. Bland & Davidson

Solar Turbines International. Catálogos

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

APENDICE A
SISTEMAS DE COGENERACION

SISTEMAS DE COGENERACION

D e f i n i c i ó n

Cogeneración es el término empleado para denominar los sistemas que combinan los procesos térmicos asociados a la producción de energía eléctrica (o mecánica), con otro tipo de procesos térmicos (generación y/o demanda de vapor o calor), utilizando el calor de desperdicio de uno como la entrada de energía del otro.

C l a s i f i c a c i ó n

La mayoría de los sistemas de cogeneración se denominan de acuerdo a los ciclos termodinámicos clásicos o a las máquinas empleadas; sin embargo, también se pueden clasificar tomando en cuenta el orden de producción de electricidad o energía térmica, estos sistemas son topping y bottoming.

En un sistema topping la electricidad se produce inicialmente y la energía térmica desechada se captura y aprovecha posteriormente, en procesos industriales, calentamiento de agua, etc. En un sistema bottoming el combustible se emplea para producir calor de alta temperatura, como por ejemplo en hornos

para recalentamiento de acero, secado de vidrio, etc., y los gases calientes de desperdicio se aprovechan en una caldera de recuperación de calor para producir vapor y generar electricidad consecuentemente.

Aunque la forma de aprovechar la cogeneración depende de las características técnicas y económicas involucradas en cada caso, existe un conjunto de esquemas típicos donde quedan representados los esquemas más comunes, los cuales se presentan al final de este capítulo.

La figura 1 muestra el esquema convencional para producir electricidad de manera independiente del vapor o calor para proceso, es decir sin cogeneración. La empresa pública de electricidad abastece a las industrias A y B. La industria A requiere vapor para sus procesos y emplea una caldera que lo produce a la presión y temperatura adecuada. La industria B produce calor en su proceso; una parte es enviada a la atmósfera como desecho. Con este esquema se requieren del orden de 2800 Kcal para producir un Kwh; es decir, a una eficiencia de 30 %.

En un sistema topping (Fig.2) la electricidad se produce en una primera instancia y la energía térmica desechada (vapor) se captura y aprovecha posteriormente en procesos industriales, calentamiento de agua, acondicionamiento de espacios, etc. La turbina de vapor puede ser de extracción o contrapresión. El

esquema es aplicable a casos como el de la industria A de la figura 1. La caldera se diseña para producir vapor a presión y temperatura elevadas, para alimentar la turbina; el vapor de extracción o de escape está a la presión y temperatura requeridas por el proceso. En este arreglo se necesitan 1260 Kcal por Kwh; la eficiencia corresponde al 68%.

La figura 3 indica un ejemplo de sistema topping con turbina de gas. Este esquema es adecuado para procesos como el de la industria A de la figura 1. Los gases calientes del escape de la turbina se alimentan a una caldera de recuperación de calor de desperdicio para producir vapor, pudiendo emplearse algún combustible complementario. En este caso se obtiene un Kwh por cada 1390 Kcal, esto produce una eficiencia de 62 %.

Una variante de este sistema se muestra en la figura 4. Los gases de escape de la turbina de gas se aprovechan directamente para el proceso. Puede ser el caso de la industria B de la figura 1.

El sistema bottoming de la figura 5 corresponde a la aplicación de un ciclo Rankine para cogeneración industrial. Los gases de escape de la chimenea se alimentan a un generador de vapor para producir electricidad por medio de una turbina de vapor. Cabe mencionar que la mayoría de las aplicaciones industriales de estos sistemas están asociados con procesos de altas temperaturas.

La figura 6 contiene el esquema denominado Ciclo Combinado. Como se observa, los gases de escape de una turbina de gas se recogen en una caldera para producir vapor de alta presión que alimenta a una turbina de vapor de extracción (o contrapresión) para obtener electricidad adicional; el vapor de baja presión se utiliza para proceso. Este ciclo requiere 1260 Kcal por da Kwh; la eficiencia es del 68 %

P r i m o t o r e s

Turbinas de vapor. Son las más comunes debido a la flexibilidad de emplear combustibles alternativos para generar el vapor. Las calderas de vapor pueden utilizar combustibles fósiles como petróleo, gas natural, carbón, leña y otros líquidos o gases; combustibles nucleares o líquidos y gases sintéticos. La energía mecánica que requiere la turbina se produce como vapor de alta presión y el generador eléctrico convierte la energía mecánica en electricidad. Las turbinas de vapor con extracción son las más frecuentemente empleadas en cogeneración, pues generan una alta proporción de electricidad con respecto al vapor de entrada, permitiendo una o varias extracciones de vapor en etapas apropiadas a las necesidades de presión y temperatura de los usuarios. El vapor para proceso industrial se proporciona generalmente arriba de 10 Kg/cm^2 . Con las turbinas de contrapresión no es posible se

leccionar el tipo de vapor. El vapor sale de la turbina a una presión algo mayor que la atmosférica y se emplea en proceso u otros fines. Las turbinas de extracción-condensación pueden -- operar independientemente la electricidad y el vapor. Las turbinas de vapor también se emplean para producir potencia mecánica.

T u r b i n a s d e g a s y m á q u i n a s D i e s e l

Estas máquinas queman directamente el combustible y usan los gases de combustión para producir energía mecánica, para la generación de electricidad. La cogeneración con estas máquinas se deriva del empleo de los gases de escape como calor para proceso y producción de vapor. En este último caso se utiliza una caldera de recuperación de calor de desperdicio.

F l u i d o s d e t r a b a j o

En el caso del ciclo Rankine, además del agua, se puede emplear algún fluido orgánico, como el tolueno, fluorinol o Freón II. Los fluidos orgánicos proporcionan más flexibilidad que el agua, sus propiedades permiten operar a temperaturas menores que la de evaporación del agua, y presentan mayor eficiencia en altas temperaturas.

E s q u e m a s c o m e r c i a l e s .

Los sistemas de cogeneración permiten comercializar los excedentes de electricidad, vapor y calor de desperdicio. Como ejemplo se tienen los siguientes casos:

1.- Un particular puede vender:

- a) Gases de escape calientes a un segundo particular para producir vapor, o a un tercer particular como calor para proceso. También puede venderlos a una compañía eléctrica para sustituir combustibles;
- b) Excedentes de electricidad a la compañía eléctrica o a otro particular usando la red eléctrica.

2.- Una compañía eléctrica, además de la electricidad -- puede vender energía térmica (es decir, vapor o gases de escape calientes), a un particular cercano.

E s q u e m a s d e p r o p i e d a d

Los esquemas de cogeneración admiten y motivan la participación de recursos complementarios entre las empresas. Por ejemplo, si un particular A instala una turbina de gas, otro particular B (o una compañía eléctrica) puede ser el dueño de -- una caldera de recuperación de valor de desperdicio requerida para producir vapor en una aplicación determinada.

I n t e r c o n e x i ó n d e l o s a u t o p r o d u c -
t o r e s a l a r e d p ú b l i c a .

La aplicación de la cogeneración da lugar a mejorar la calidad y economía del suministro de electricidad, a través de la complementación de las instalaciones y su operación.

Las situaciones que pueden presentarse son:

- 1.- Autoabastecimiento parcial (demanda base). En este caso la red proporcionará energía para las demandas pico.
- 2.- Excedentes de electricidad. La electricidad sobrante autogenerada en la industria es intercambiada (en dinero o especie) con la red.

En ambos casos la red puede actuar como respaldo parcial (demanda base o auxiliares) o total.

Puede suceder que una industria se vuelva autosuficiente en energía y potencia, y opere independientemente de la red.

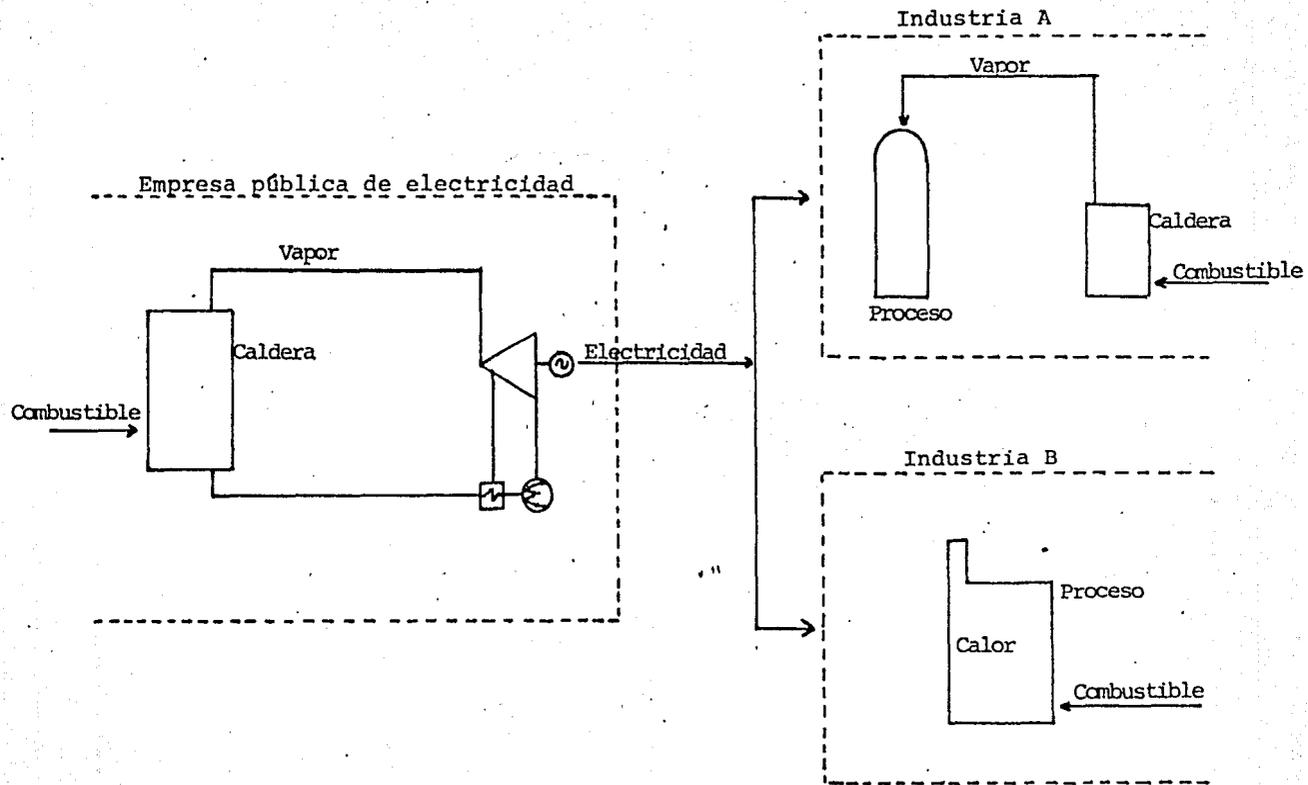


Figura 1.- PRODUCCION INDEPENDIENTE DE ELECTRICIDAD, VAPOR Y CALOR PARA PROCESO

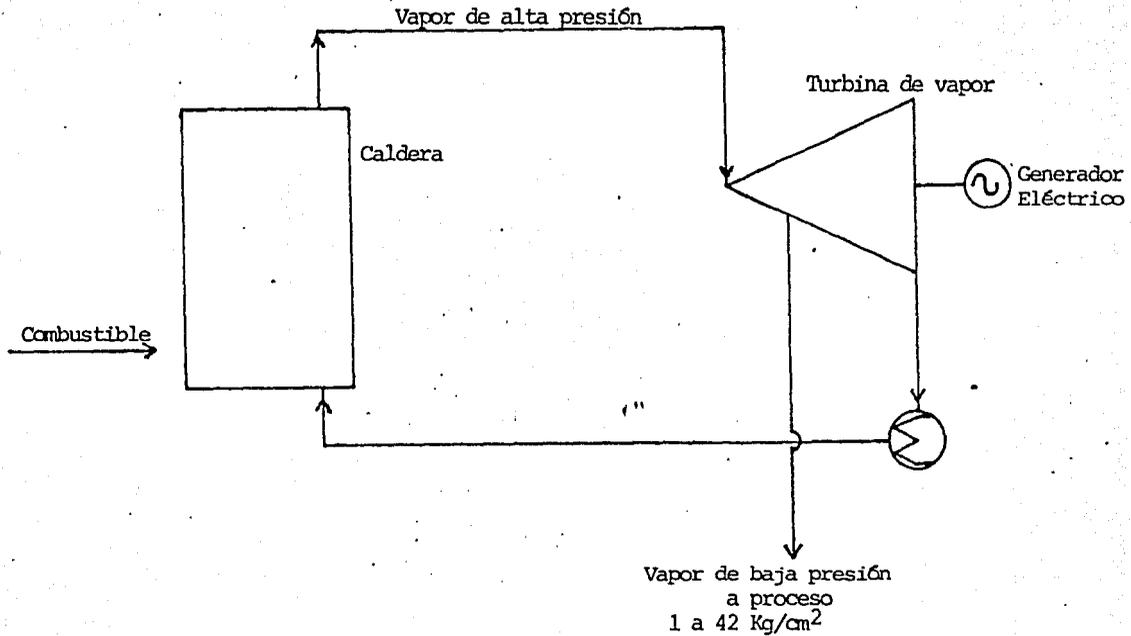


Figura 2.- PRODUCCION DE ELECTRICIDAD CON TURBINAS DE VAPOR A PARTIR DE LOS REQUERIMIENTOS DE VAPOR PARA PROCESO.

SISTEMA TOPPING CON TURBINA DE GAS .

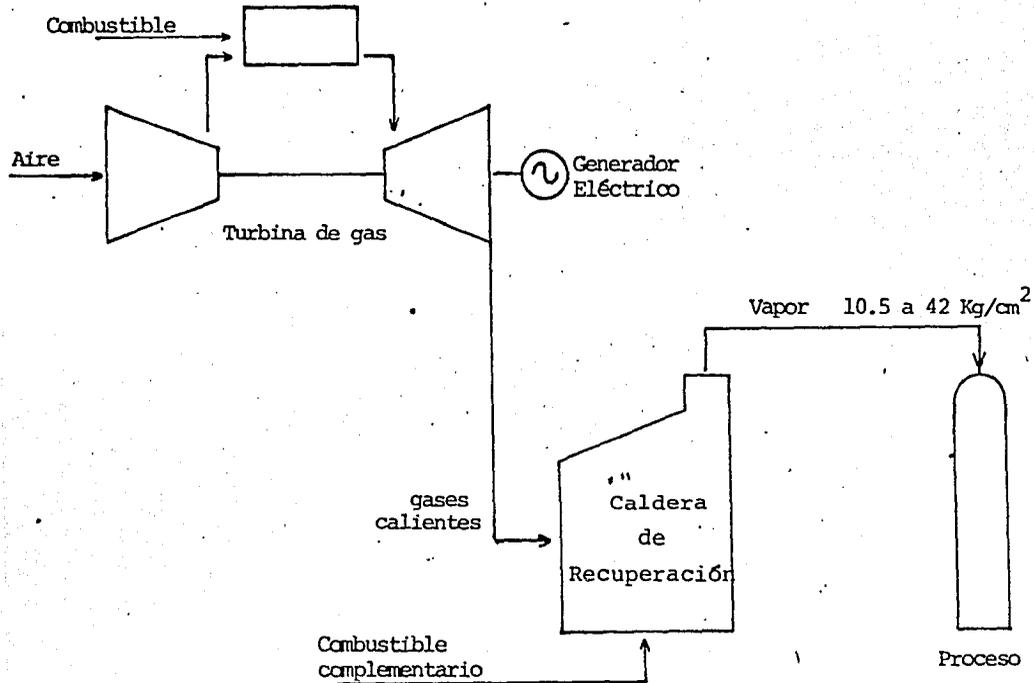


Figura 3.- PRODUCCION DE ELECTRICIDAD CON TURBINA DE GAS Y CALDERA DE RECUPERACION DE CALOR (puede complementarse con fuego directo) PARA VAPOR DE PROCESO

SISTEMA TOPPING CON TURBINA DE GAS

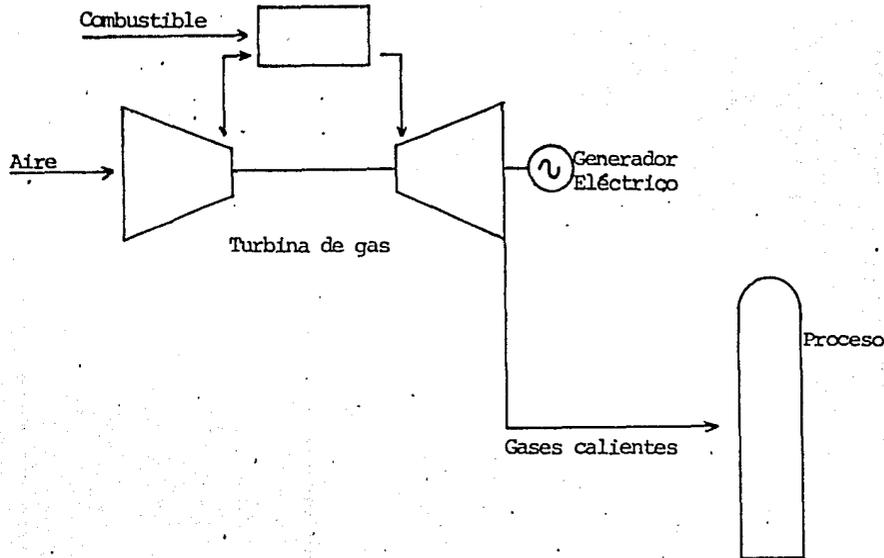


Figura 4.- PRODUCCION DE ELECTRICIDAD CON TURBINA DE GAS EN UN PROCESO CON DEMANDA DE CALOR

SISTEMA BOTTOMING CON CICLO RANKINE

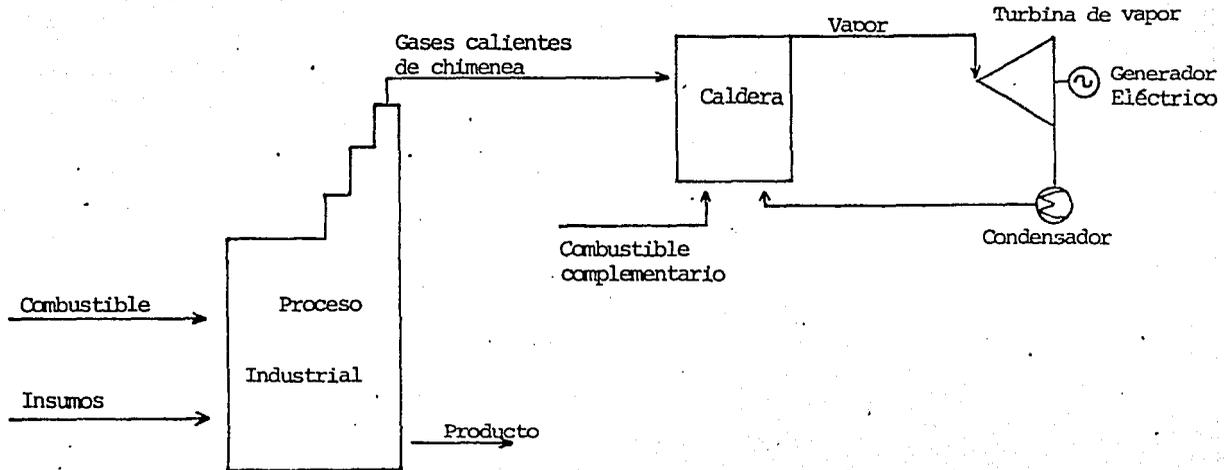


Figura 5. - PRODUCCION DE ELECTRICIDAD EN CICLO RANKINE APROVECHANDO LOS GASES CALIENTES DE ESCAPE DE UN PROCESO INDUSTRIAL. PUEDE EMPLEARSE COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO.

SISTEMA DE CICLO COMBINADO

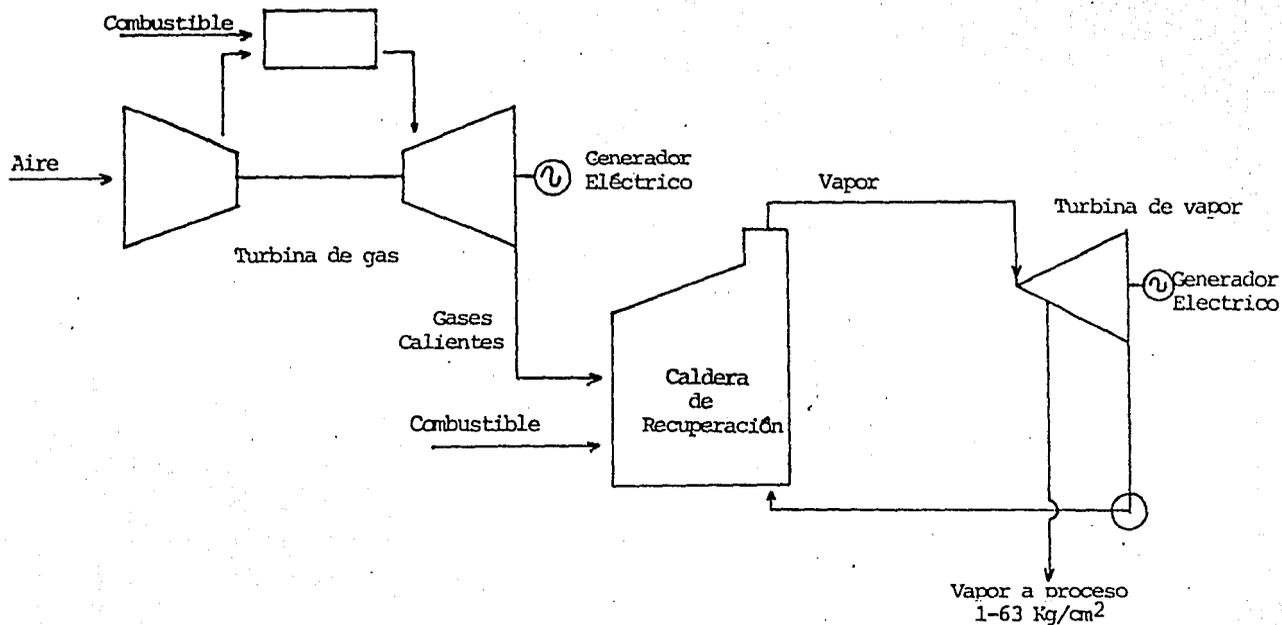


Figura 6.- PRODUCCION DE ELECTRICIDAD CON UN CICLO COMBINADO.

APENDICE B
ESQUEMAS DE COGENERACION APLICADOS EN LA
INDUSTRIA DE MEXICO.

A Z U C A R

Esta es una de las industrias con mayor historia y expansión en México. En 1983 existían 69 ingenios en operación; 16 de ellos de propiedad privada, 2 se manejaban por cooperativas y el resto pertenecía a Azucar, S.A., empresa estatal.

La producción total de azúcar en ese año fué de ---
2 893 Tons.

Breve descripción del proceso de fabricación del azúcar:

Ex t r a c c i ó n d e l j u g o d e c a ñ a

Puede dividirse en tres etapas:

- . Recepción, pesado, manejo y lavado de caña en el Batey (básculas, sistema de lavado, grúas, mesas alimentadoras y conductores).
- . Preparación de la caña para facilitar la extracción del jugo (niveladores, cuchillas cañeras, - desfibradora).
- . Extracción del jugo de caña (desmenuzadora, tánden de molinos).

Al término de la molienda se obtienen dos productos: el guarapo (jugo de la caña mezclado con agua) y el bagazo (parte fibrosa de la caña). El bagazo generalmente se envía al área de - calderas en donde sirve como combustible.

El guarapo se bombea a unas básculas en donde es pe

sado con el propósito de mantener un control sobre la cantidad de él que entra a la fábrica

C l a r i f i c a c i ó n

Tiene por objeto la eliminación de las impurezas del jugo y se lleva a cabo favoreciendo una reacción química a alta temperatura, entre el jugo y el carbonato de calcio, que se añade en forma de lechada. En esta etapa interviene el siguiente equipo: tanque de alcalizar, calentadores, tanque flash y clarificador.

A la salida del clarificador se obtienen dos productos: el jugo claro (libre en gran parte de impurezas) que continúa hacia el área de evaporadores y la cachaza (mezcla -- densa de sacarosa e impurezas) que es enviada a filtros especiales, donde por medio de lavados se recupera el azúcar (sacarosa) que todavía contiene. Este lavado o "filtrado" se envía nuevamente al área de clarificación.

E v a p o r a c i ó n

El guarapo claro procedente del clarificador, se evapora eliminándose gran parte del agua que contiene y obteniéndose una solución azucarada más espesa, denominada meladura. Esta operación se lleva a cabo en aparatos denominados - evaporadores.

C r i s t a l i z a c i ó n

La meladura termina de evaporarse en los tachos, hasta el punto en que por medio de técnicas especiales, es posible obtener sacarosa en forma de cristales. Esta operación se denomina cristalización. Al producto que sale de los tachos se le denomina templa o masa cocida y está formada por cristales de azúcar (sacarosa pura) y por mieles.

Hay templas de diferente calidad y pureza. Las templas de menor pureza (templas "C") se envían a los cristalizadores donde se dejan enfriar y se mantiene cierto tiempo, con el propósito de que se deposite, en los cristales ya formados, la sacarosa que todavía contienen las mieles.

C e n t r i f u g a c i ó n

Después de reposar en el cristizador, estas masas se calientan ligeramente, y se envían al área de centrifugas, donde se obtiene, por un lado, cristales de azúcar, y por otro, un material incristalizable denominado miel final.

El azúcar de "C", se mezcla en un gusano, con -- otras soluciones azucaradas, formando un magma, que se envía a depósitos denominados semilleros. Este material que contiene sacarosa en forma de cristales, sólo que muy pequeños, sirve como "pie" o base para otras templas de mayor pureza, en donde estos cristales pequeños, adquieren un tamaño apropiado.

Las templas de mayor pureza, a la salida de los -

tachos, generalmente se envían directamente a las centrífugas, donde se separan los cristales de las mieles. Las mieles se envían a diferentes tanques situados en el área de tachos.

Manejo del azúcar

Los cristales puros y limpios, se envían a un secador de azúcar, o a un almacén, dependiendo del tipo de azúcar de que se trate.

Los azúcares que pasan por el secador, se pesan -- después en básculas automáticas, se envasan en sacos y se estiban en un almacén.

Perfil de Operación Temporal

El perfil de operación de un ingenio durante el año está ligado al ciclo agrícola de la caña de azúcar. El procesamiento de ésta es el paso siguiente a la cosecha. La figura 7 muestra una representación simplificada del calendario de actividad.

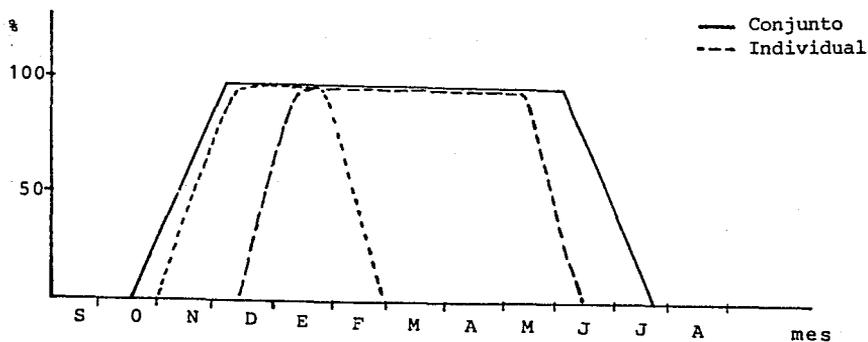


Figura 7. Utilización de la capacidad de producción de la Industria Azucarera en México

La industria en su conjunto opera continuamente - alrededor de 8 meses consecutivos, aunque individualmente cada ingenio trabaja entre 110 y 185 días. El tiempo restante es dedicado al mantenimiento de la planta industrial en general.

Sistema Energético

El ingenio azucarero es una de las industrias más interesantes en el campo energético

Debido a la naturaleza del proceso, el suministro de energía se cubre en gran medida con recursos propios obtenidos como subproductos, en tal magnitud que plantean la posibilidad de autosuficiencia y aún la exportación de energía.

En la figura siguiente se muestra el esquema general del proceso y su sistema energético.

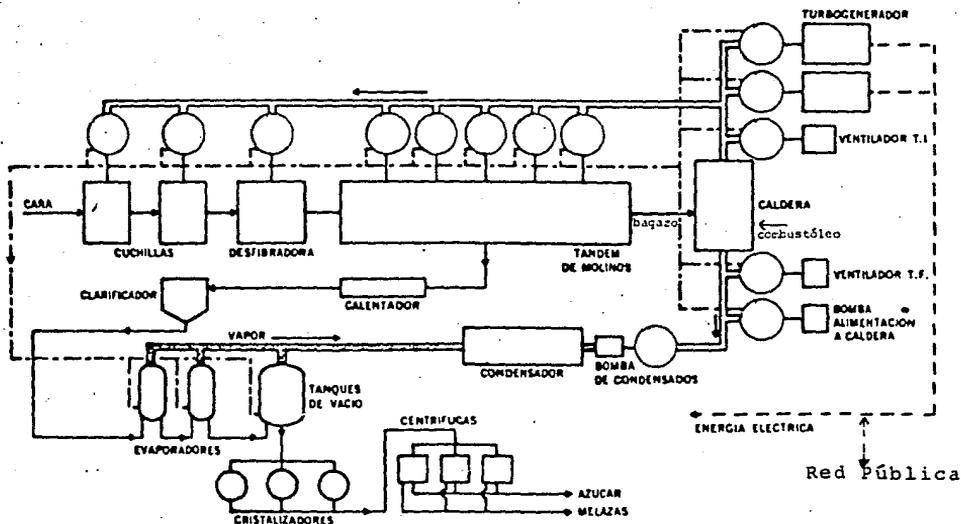


Figura 8.- Proceso y esquema energético de la industria azucarera en México.

El flujo de energía consiste básicamente de la entrada de petróleo combustible y bagazo de caña, que son alimentados a las calderas para producir vapor de "alta presión", el cual se utiliza para proveer de potencia mecánica a las turbinas de los generadores de electricidad, a los motores de las cuchillas, desfibradoras y molinos, a los ventiladores de tiro forzado de las calderas y a la bomba de alimentación de condensado a los generadores de vapor. Conviene aclarar que también se utilizan motores eléctricos en estas últimas aplicaciones - quedando las turbomáquinas como respaldo.

El vapor de descarga o de contrapresión es empleado para evaporar los jugos de la caña, y posteriormente condensado, volviendo a circular a las calderas.

Un aspecto importante relacionado con el vapor se encuentra en la instalación de válvulas reductoras de presión y de seguridad. En la figura 9 se muestra un arreglo típico.

La válvula reductora de presión se utiliza para desviar el vapor que normalmente pasa a través de la turbina de vapor, hacia el proceso. Su utilidad se manifiesta cuando la - turbina está fuera de servicio.

La válvula de seguridad, como su nombre lo indica, es empleada para enviar a la atmósfera el vapor en exceso del - sistema.

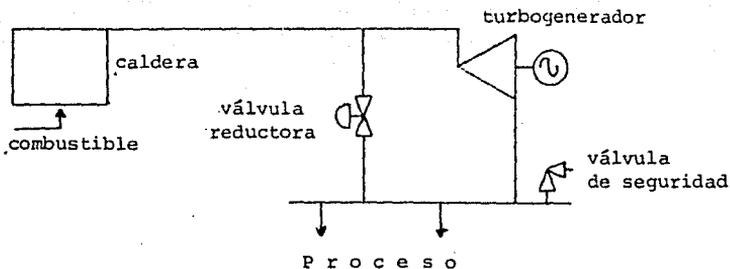


Figura 9.- Válvulas de desvío para manejo de vapor.

Suministro de Energía Eléctrica

Como se observa en el diagrama de la figura 8, esta operación se lleva a cabo a través del autoabastecimiento más la conexión a la red pública.

En la investigación se encontró lo siguiente:

- 1.- La potencia eléctrica nominal instalada en toda la industria, en 1984, fue de 360 MW, en 206 unidades. La capacidad de cada unidad estuvo entre 300 y 5 000 Kw. El promedio instalado por ingenio fue de 5 300 Kw de potencia, con 3 unidades.
- 2.- La generación propia de electricidad durante la zafra ---- 1982-1983 alcanzó 450 Gwh y cubrió el 96% de la demanda total de la industria.

- 3.- Con los datos anteriores de potencia instalada y autogeneración, se calculó un factor de planta de 14% en base anual, y de 21% considerando 8 meses de actividad.
- 4.- Todos los ingenios cuentan con subestaciones eléctricas conectadas a la red pública, con una potencia acumulada para la industria de aproximadamente 40 000 Kva.

D i a g n ó s t i c o d e l a c o g e n e r a c i ó n .

El diagrama de la figura 8 muestra claramente la relación operativa entre la producción de electricidad y potencia mecánica y el proceso industrial.

Este esquema corresponde a un sistema topping con turbina de vapor a contrapresión.

Ahora bien, adicionalmente se detectó que en 1984:

- 1.- 68 de los 69 ingenios existentes en el país emplearon esos esquemas, con variantes en el uso de motores eléctricos en lugar de turbinas de vapor para aplicaciones mecánicas.
- 2.- El ingenio Guadalupe, ubicado en Tecatitlán, Jal., fué la -- excepción al punto anterior, pues únicamente utilizó energía eléctrica, dependiendo en su totalidad de la red pública.

O b s e r v a c i o n e s

A continuación se muestran algunos datos adicionales que pueden ser de interés:

1.- Durante la zafra 1983-1984 se consumieron aproximadamente 1.07 millones de metros cúbicos de combustóleo y 11.2 millones de toneladas de bagazo. En términos de energía, corresponden a un consumo compuesto por 65% de bagazo y 35% de combustóleo, considerando 1 705 Kcal/Kg y 9 588 -- Kcal/lt, respectivamente.

2.- El bagazo producido se distribuyó de la manera siguiente:

	10 ⁶ Ton.	%
Calderas	9,662	86
No energético ^{1/}	1.321	12
No utilizado	0.227	2
T o t a l	11.210	100

3.- La presión de entrada en las turbinas de contrapresión varía entre 10 y 25 Kg/cm² y la salida es de 1 a 3 Kg/cm².

4.- Existen dos prácticas operativas generalizadas

a) válvulas reductoras manejando vapor en paralelo a los turbogeneradores para cubrir demandas pico. Este volumen representa alrededor del 20% de la demanda máxima.

b) respaldo redundante entre los turbogeneradores.

C o n c l u s i ó n

A partir de la información recopilada, puede concluirse que la cogeneración en la industria azucarera está ampliamente difundida. Sin embargo, en su estado actual y dentro del contexto energético nacional, resulta susceptible a ciertas adecuaciones.

^{1/} Materia prima para papel, conglomerados y alimento para ganado.

Entre otras acciones, se debe ponderar el impacto de:

- 1.- Operar con autonomía y liberar 40 000 Kva instalados en subestaciones eléctricas conectadas a la red pública, - permitiendo el suministro a otros usuarios.
- 2.- Incrementar la generación de electricidad, exportando los excedentes a la red pública, previo acuerdo comercial.

Referencias y Fuentes de Información

- 1.- Manual Azucarero Mexicano 1984
Compañía Editora del Manual Azucarero, S.A.
- 2.- Cuestionarios de la Zafra 1982-1983
Secretaría de Energía, Minas e Industria
Paraestatal.
- 3.- Cursos Informativos para Areas de Producción.
Instituto de Capacitación de la Industria
Azucarera.
- 4.- Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento
de Electricidad.
Secretaría de Energía, Minas e Industria
Paraestatal.
- 5.- Estadísticas Azucareras 1984
Comisión Nacional de la Industria Azucarera
Unión Nacional de Productores de Azúcar.

S i d e r ú r g i c a I n t e g r a d a

La industria "siderúrgica integrada" comprende los procesos que van desde la fabricación de acero hasta la elaboración de productos finales^{1/}

En 1984 existían seis plantas de este tipo operando en México. En la primera parte del análisis se describen los procesos típicos industriales, localizados en la literatura especializada, correspondientes a los casos mexicanos.

Al final se presenta un esquema representativo del conjunto de la industria siderúrgica instalada en el país, integrado con la información disponible.

P r o c e s o

El acero es producido en plantas integradas o en las llamadas - plantas de "metal frío". En las primeras la fuente primaria de fierro es el mineral de fierro en la forma de terrones de mineral, sinter o pellets.

En una planta de metal frío, las materias primas básicas son -- acero y chatarra que se funden y refinan en un horno de arco - eléctrico. Posteriormente el acero es colado y laminado en for

^{1/} La industria "siderúrgica básica" emplea altos hornos (incluyendo coquizadoras) acerías y laminadoras. El otro segmento de esta industria recibe productos básicos de acero de las compañías productoras de acero y las convierte en productos finales (es decir, alambre, clavos, láminas forjadas en frío, tubo). El proceso es relativamente simple y consiste en estirado en frío, laminado en frío, soldadura, aleación y tratamiento térmico. La mayoría de estas fábricas son relativamente pequeñas y generalmente producen una variedad limitada de productos.

mas finales (generalmente barras o rodillos). La mayoría de estas fábricas tienen relativamente poca capacidad en comparación con las plantas integradas. Cabe mencionar que muchas acerías - integradas también tienen hornos de arco eléctrico para aceración a partir de chatarra.

En la figura 10 se muestra el flujo de las operaciones de aceración para una planta integrada.

La fuente primaria de hierro es el "metal caliente" obtenido -- del alto horno. La materia prima es el mineral de hierro en una o más de las formas mencionadas anteriormente y coque, el cual es producido a partir del carbón en la planta de acero. Solamente un pequeño porcentaje del coque empleado es comprado a otros productores. El metal caliente colado en pequeñas barras es conocido como arrabio (pig iron).

El acero líquido producido por cualquiera de los tres procesos es colado en dos formas. En un caso se pasa a moldes y se deja solidificar. El otro proceso es conocido como "colada continua" en donde se cuela en un molde oscilatorio enfriado por agua para producir formas semiacabadas, como planchas, tochos, lingotitos (billets), en una sola tira.

Para que los lingotes puedan ser convertidos en formas semiterminadas se calientan a temperaturas de 2200 a 2400°F en cámaras refractarias conocidas como "fosas de recalentamiento" (soaking pits). Los lingotes calientes son laminados posteriormente en forma de planchas, tochos (blooms), o lingotitos (billets).

Las principales operaciones consumidoras de energía son coqui-

zación; aglomeración de mineral de fierro; fabricación de fierro; aceración; recalentamiento de lingotes; recalentamiento de planchas, billets, etc.; y tratamiento térmico o forjado. Estas operaciones acumulan más del 80% del consumo total de energía

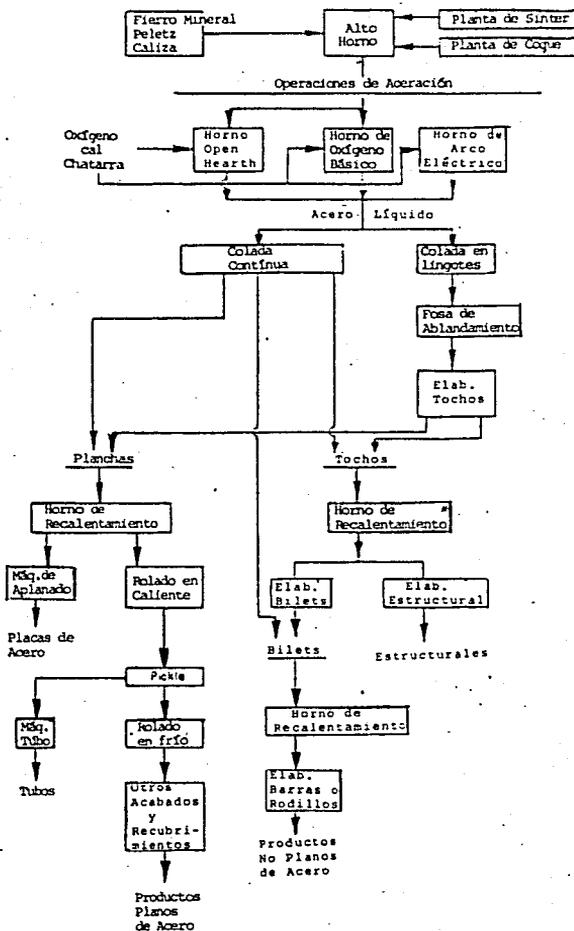


Figura 10.- DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS OPERACIONES DE UNA SIDERURGIA INTEGRADA

A continuación se presentan diversos aspectos termodinámicos de las unidades que integran este proceso.

Coquería

La figura 11 muestra la operación de coquización. El carbón es destilado a unos 2000°F empleando la combustión de los gases - del horno de coque y del alto horno como fuente de calor.

El carbón es depositado en ranuras angostas de unos 40 pies de largo por 20 pies de altura por 18 pulgadas de anchura. Los gases calientes de la combustión transitan por las ranuras que - contienen el carbón, luego van hacia abajo por los enladrillados y al final salen como calor residual por la chimenea. El aire de combustión es precalentado al pasar por el enladrillado previamente calentado. El flujo de los gases de combustión es revertido periódicamente para que cada mitad del enladrillado (regeneradores) sea calentada la mitad del tiempo y enfriada el resto.

Los productos de la coquería son coque, gas de coquería, alquitrán, aceite ligero, soluciones de amoníaco y finos de coque. El gas de coquería, los finos de coque y parte del alquitrán se emplean como combustible en otras partes del proceso de fabricación de acero.

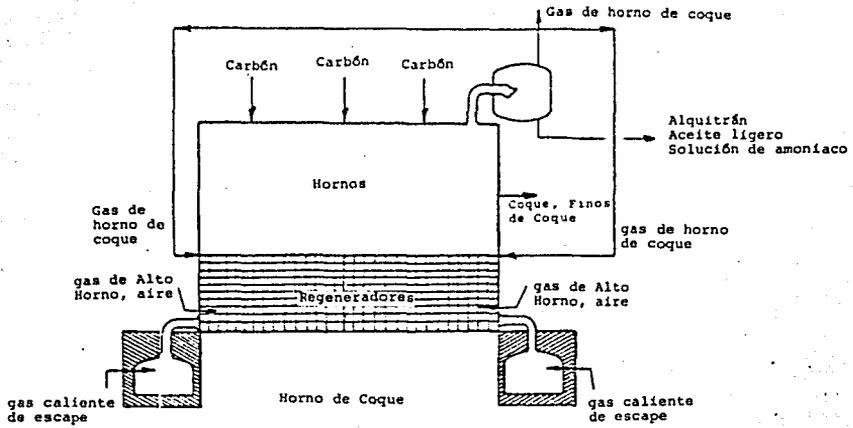


Figura 11. - OPERACION DE COQUIZACION

SINTER

La figura muestra la operación de sinterización que ocurre en una parrilla móvil que transporta un lecho de finos de mineral, finos de caliza y finos de coque. El lecho (finos de coque) es encendido por quemadores de gas y, mientras la mezcla se mueve a lo largo de la parrilla, el aire es forzado a través de la mezcla para mantener la combustión de los finos. El calor sinteriza la mezcla a 2500°F en bolas del tamaño de base ball. Aproximadamente un tercio del mineral alimentado a un alto -- horno es sinterizado.

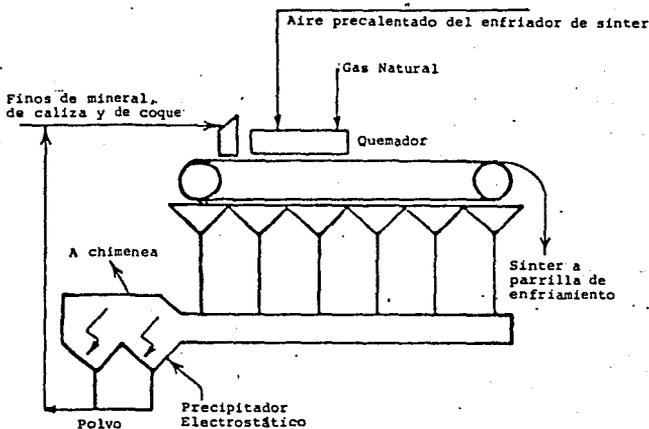


Figura 12.- ELABORACION DEL SINTER

PELETS

La figura 13 muestra que la operación de peletización también ocurre en una parrilla móvil. Los pelets se forman a partir -- del mineral de hierro, bentonita y humedad. Los pelets son cu- biertos con carbón el cual es encendido en la parrilla móvil. El aire caliente recuperado de la campana enfriadora es emplea do para secar y precalentar los pelets. Para encender el car- bón pulverizado o los finos de coque, se emplea gas natural. Esta operación ocurre a 2000-2400°F.

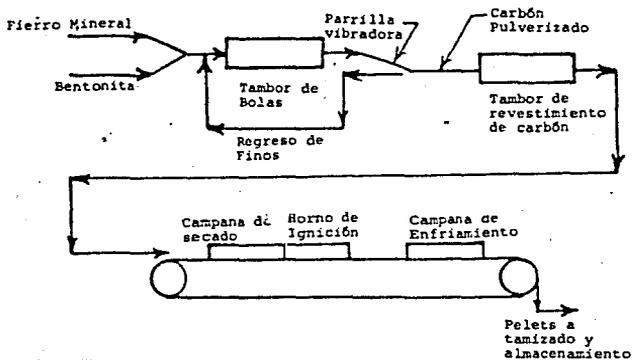


Figura 13.- ELABORACIÓN DE PELETS

HORNO DE ARCO ELECTRICO

La figura 14 muestra la aceración empleando un horno de arco eléctrico. La electricidad se usa para generar calor que funda chatarra. La carga se puede precalentar para reducir los requerimientos de energía al fundir la chatarra. Chorros de oxígeno aceleran la oxidación del arrabio y producen ahorros de energía

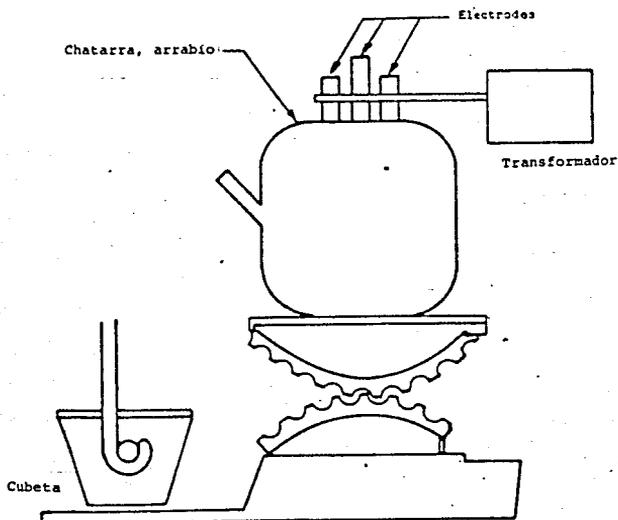


Figura 14.- HORNO DE ARCO ELECTRICO.

ALTO HORNO Y ESTUFAS

La figura 15 muestra la parte de producción de hierro en el proceso de aceración. La reducción de mineral de hierro a hierro se lleva a cabo en el alto horno. El agente reductor es el coque que no solamente reduce el mineral sino también proporciona calor para fundir el hierro.

También se proporciona calor adicional por medio de la mezcla de aire y oxígeno precalentados en las estufas del alto horno. El combustible para estas estufas es gas de alto horno más gas natural. Suele inyectarse algo de hidrocarburos combustibles al alto horno. El gas del alto horno que sale por la parte superior del horno se emplea como combustible en todo el proceso de aceración.

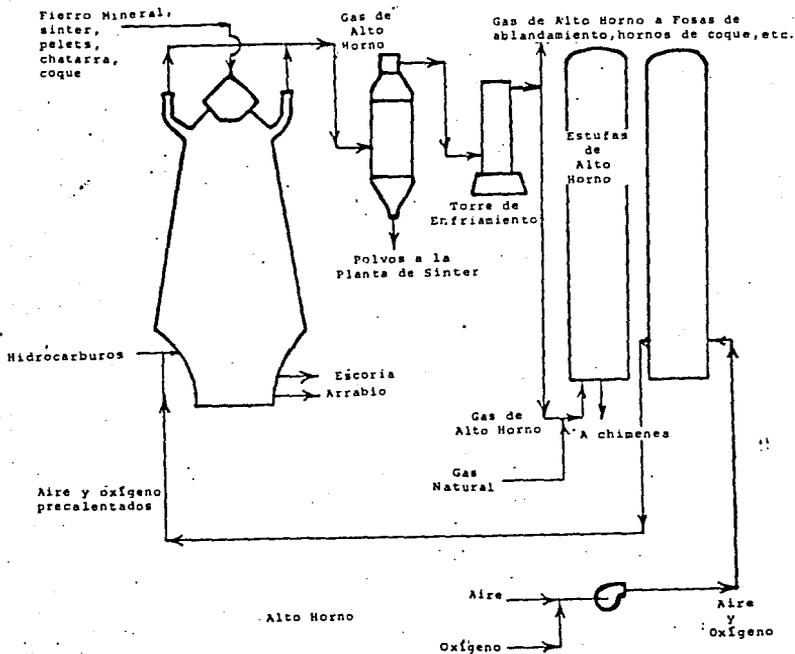


Figura 15.- ALTO HORNO Y ESTUFAS.

HORNO DE OXIGENO BASICO

La figura muestra la operación de acería empleando el horno de oxígeno básico. El arrabio del alto horno generalmente contiene cantidades excesivas de carbón, silicón, magnesio y fósforo. Estas impurezas son oxidadas rápidamente por el oxígeno soplado al metal fundido. Estas reacciones de oxidación liberan calor de tal manera que solamente se requiere poco calor adicional para mantener el metal en fundición.

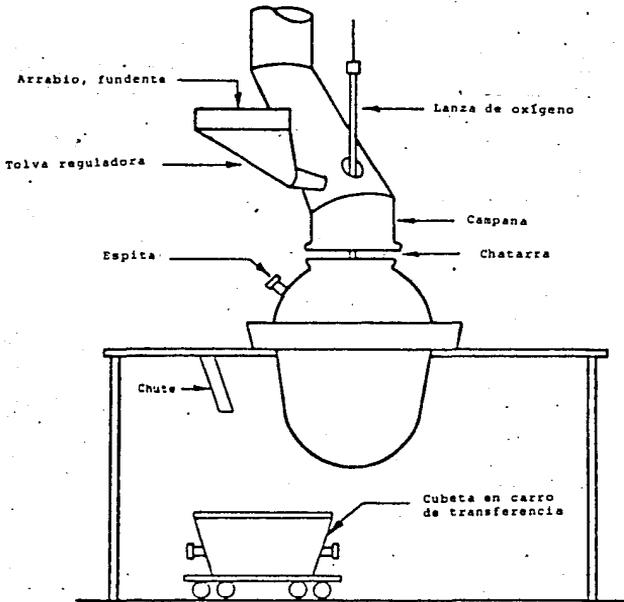


Figura 16.- HORNO DE OXIGENO BASICO (BOF)

Perfil de Operación Temporal.

Por las características del proceso, las plantas industriales de la siderúrgica integrada operan ininterrumpidamente durante los 365 días del año.

Más aún, los altos hornos están diseñados para operar continuamente por varios años

Sistema Energético

La figura 17 contiene el diagrama simplificado del sistema energético representativo de la industria siderúrgica integrada en México.

Los energéticos primarios son: el coque, que juega un doble papel, como combustible y como materia prima para la reducción -- del hierro; el gas natural, el combustóleo o petróleo y el diesel.

El consumo final de energía se realiza en términos de calor y se satisface en gran medida aprovechando los gases calientes de escape de las plantas de coque y de los altos hornos, los cuales se recirculan a través de las estufas de los altos hornos, o se destinan a diversas secciones de elaboración de productos y a la producción de electricidad.

Cabe mencionar que la complejidad de las operaciones en esta industria ha motivado la creación de departamentos especializados para el despacho de energéticos, con el fin de mantener un suministro oportuno y económico de energía.

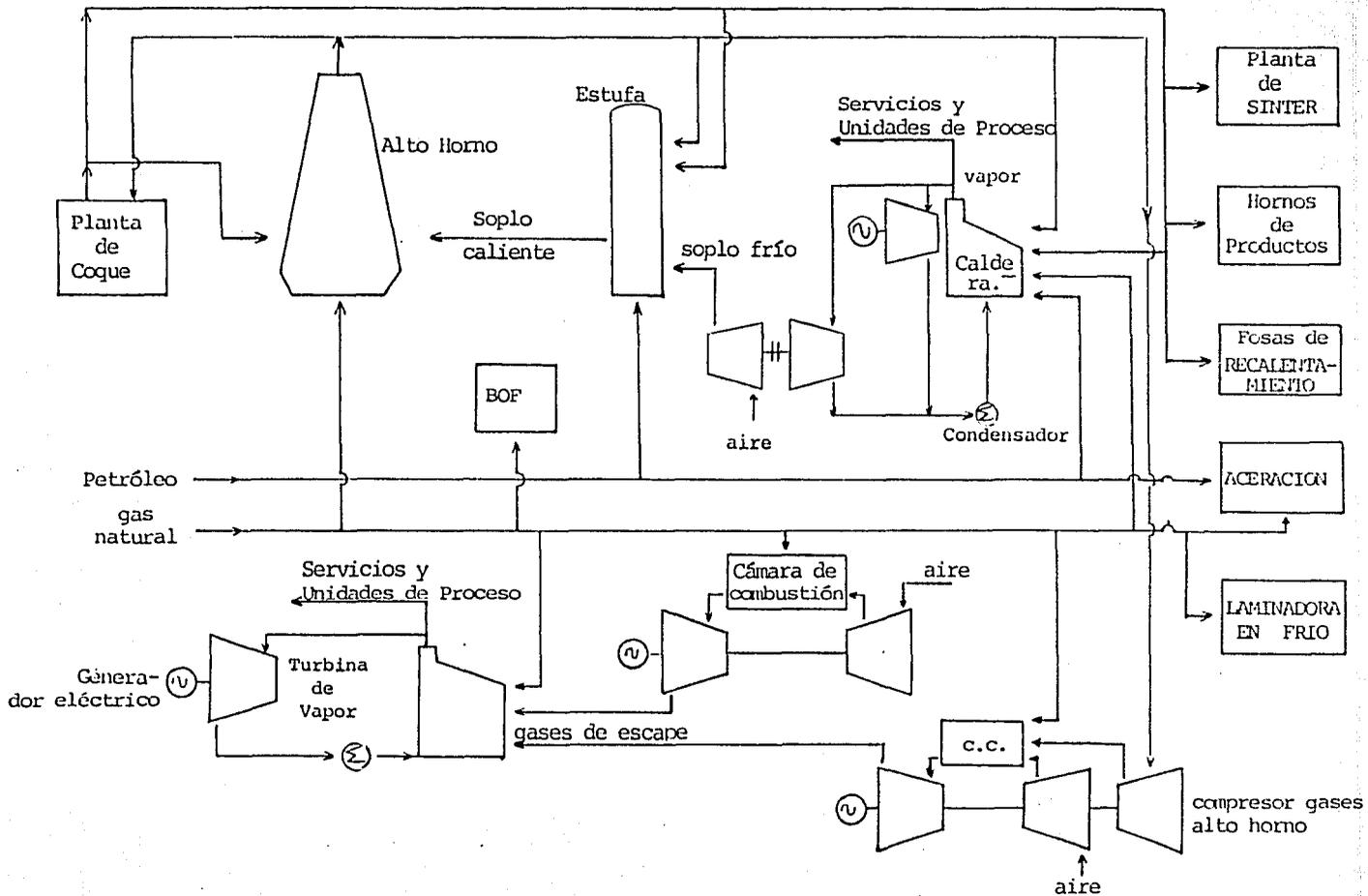
S u m i n i s t r o d e E n e r g í a E l é c t r i c a

Se realiza por medio del autoabastecimiento y compras e intercambios con la red pública.

La capacidad nominal instalada entre las cuatro empresas en - 1984 fue de 423 625 Kw, en 35 unidades, siendo 175 000 Kw turbinas de gas y el resto de vapor.

La generación en ese año fué de 1219 Gwh, incluyendo 143 Gwh producidos por la turbina de gas de HyLSA, Monterrey, entregados a la CFE; el consumo de energía eléctrica ascendió a ---- 2 959 Gwh ; el factor de planta del conjunto resultó del 32 %.

Figura 17.- SIDERURGICA INTEGRADA - ESQUEMA ENERGETICO



Diagnóstico de la Cogeneración.

De acuerdo a las referencias consultadas y al diagrama de la figura 17, se observa que la industria siderúrgica integrada se ha caracterizado por mantener una política de uso eficiente de energía, es decir, se ha preocupado por reducir al mínimo el empleo de combustibles primarios

En este sentido, queda manifiesto que la producción de electricidad (y potencia mecánica) se lleva a cabo en términos de cogeneración, encontrándose sistemas bottoming, topping y ciclo combinado.

El cuadro 110 de la referencia 5 muestra que en 1982 se alcanzaron eficiencias térmicas hasta del 83 %.

Observaciones.

1.- Debe aclararse que una unidad de 2 000 Kw de Altos Hornos de México, no forma parte del proceso y podría clasificarse con más propiedad en una actividad minera; de la misma forma, la operación de una unidad de turbogas de 50 000 Kw de HyLSA depende de la red pública de electricidad, debido a un convenio establecido en 1981 con la Comisión Federal de Electricidad, solamente consume gas natural, enviando los gases de escape a la atmósfera.

2.- La potencia eléctrica instalada con esquemas convencionales es de 52 000 Kw.

C o n c l u s i ó n .

A partir de la información práctica obtenida puede concluirse que la industria siderúrgica integrada de México, ha desarrollado la cogeneración de manera importante, aunque todavía cuenta con oportunidades de aprovechar algunas de sus instalaciones actuales.

Referencias y Fuentes de Información

- 1.- Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical Petroleum and Metals Industries. Marshall Sittling, Noyes Data Corporation. 1977
- 2.- La experiencia en Altos Hornos de México. Eli Campos Sandoval. Altos Hornos de México. Seminario Internacional sobre Uso Racional de la Energía en la Industria. Organización Latinoamericana de la Energía. Lima, Perú, Julio 1983.
- 3.- Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de -- Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.
- 4.- Relación de usuarios de la Tarifa 12. Departamento - de Consumidores. Comisión Federal de Electricidad.
- 5.- Perfiles Energéticos Industriales No.2 Consumo de - Energía en la Industria Siderúrgica. Petróleos Mexicanos. Gerencia de Economía Energética. Abril de 1985

Refinación de Petróleo.

Esta es una de las industrias de proceso con mayor tradición - en México, como lo indica la siguiente cita:

"En 1880 los ingenieros norteamericanos Samuel Fairburn y ---- George Dikson, comenzaron la construcción de una pequeña refinería en el Puerto de Veracruz, siendo terminada en 1886, y que llevó por nombre "El Aguila..."

En 1984 operaron 7 centros en el país, todos pertenecen a Petróleos Mexicanos, empresa del estado.

Refinación.

Es el conjunto de una serie de procesos físicos y fisicoquímicos a los cuales se somete el petróleo crudo para obtener, por destilación, los diversos hidrocarburos o familias de hidrocarburos, con propiedades físicas y químicas bien definidas.

Los productos de la refinación pueden clasificarse genéricamente como:

- a) Combustibles
- b) Productos Especiales (asfaltos, grasas, etc.)
- c) Materia Prima para la Industria Petroquímica Básica.

Proceso

Para lograr lo anterior, es necesario someter la materia prima

a una serie de pasos de transformación, los cuales se dividen en tres grupos principales:

1.- D e s t i l a c i ó n

El petróleo crudo está formado por una mezcla de hidrocarburos. Su separación, en columnas de destilación, se logra aprovechando las diferencias de volatilidad que tienen unos y otros componentes; el procedimiento utilizado consiste en calentar el petróleo crudo a una temperatura en que los componentes ligeros se evaporen y a continuación se condensen.

La condensación se efectúa a diferentes temperaturas. Los hidrocarburos más volátiles lo hacen a menor temperatura que los menos volátiles. De esta manera se obtiene gas licuado, gasolinas, kerosinas o diesel.

2.- D e s i n t e g r a c i ó n:

El residuo de la destilación de petróleo crudo, se somete a una nueva destilación, al alto vacío, para separar compo nentes menos volátiles, que de acuerdo con las propiedades del petróleo crudo de que se trate, serán destinados a lubricantes o a ser desintegrados catalíticamente. El residuo de la destilación al vacío es asfalto, o bien, carga para la planta de coque o para la hidrodeseintegradora de residuales, y la subsecuente obtención de destilados.

Los destilados al vacío que se destinan a lubricantes se someten a una serie de procesos especiales: extracción con furfural y -- desparafinación con metil, etil, cetona; al final se obtiene de ellos lubricantes básicos que, con diferentes aditivos, forman los lubricantes y las parafinas.

Los destilados al vacío que por sus características no se dedican a lubricantes, se desintegran catalíticamente para convertirlos en productos comerciales: gas licuado, gasolinas de alto índice de octano y combustible diesel.

3.-P u r i f i c a c i ó n

Estos procesos eliminan de los productos obtenidos por destilación o por desintegración, algunos compuestos que imparten propiedades inconvenientes a los productos. Los principales contaminantes en estos procesos son los compuestos derivados del azufre; los inconvenientes que presentarían los derivados del petróleo -- sin estos tratamientos sería mal olor y contaminación de la atmósfera, al ser quemados.

Por otra parte, se sabe que las refinerías varían ampliamente en -- complejidad y en la mezcla de sus productos, es decir que cada refinería cuenta con un esquema particular derivado de la combinación -- de los módulos de proceso en determinada secuencia. No obstante, -- con el propósito de identificar los aspectos cogenerativos en esta industria, a continuación se abordan los procesos más representativos instalados en México, empleando diagramas localizados en la literatura especializada.

DESTILACION DEL CRUDO

El primer paso en la manufactura de petrolíferos es la separación del crudo en los principales componentes convencionales. El crudo pasa a través de un tren de intercambiadores de calor para recuperar calor de los productos que son enviados a almacenamiento. A veces el crudo es bombeado a un domo flash, donde las fracciones ligeras se vaporizan y pasan directamente a la torre de fraccionamiento. El resto del crudo se recalienta hasta alrededor de 750°F en un calentador de fuego directo y entra a la torre. En la torre, se lleva a cabo la separación del crudo controlando los niveles de temperatura y los reflujos para lograr los rangos de ebullición de los diferentes productos.

Para suministrar calor a la columna se utiliza gas natural, gas de refinería o combustóleo. El vapor se emplea para proporcionar calor a los separadores (strippers) y a la columna atmosférica.

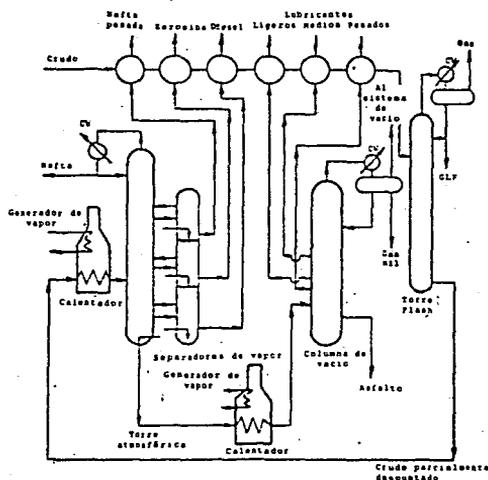


Figura 18.- Unidad de Destilación Primaria.

DESTILACIÓN AL VACÍO

Para reducir el porcentaje de residuales a fondos se realiza una segunda etapa de procesamiento, al vacío para mantener las temperaturas tan bajas como sea posible y evitar el craqueo indebido de productos.

El residuo es un fluido viscoso empleado para mezclas de combustibles; ocasionalmente es un asfalto de alto grado de fundición. La utilización de la destilación al vacío se ha incrementado como medio para producir combustibles de bajo contenido de azufre.

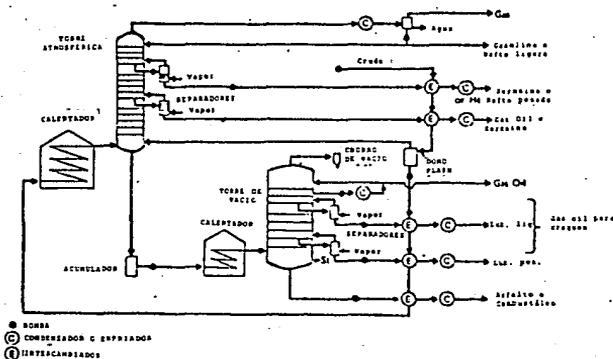


Figura 19.- Unidad de destilación al vacío

REDUCTORES DE VISCOSIDAD

Este proceso es empleado para producir un mínimo de gasolina y un máximo de combustóleo, a partir de un combustible pesado de razonable viscosidad.

La carga, normalmente residuo de vacío, es recalentada y térmicamente desintegrada en la caldera del reductor de viscosidad. El producto se mezcla con combustóleo ligero y se envía a la torre para flasheo. El alquitrán se acumula en la base de la torre; los vapores que fueron fraccionados en gasolina y gas, gasóleos ligeros y pesados, en la parte superior.

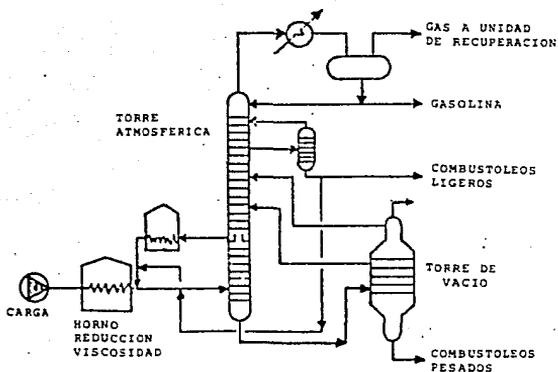


Figura 20.- Reductores de Viscosidad.

DESINTEGRACION TERMICA

La desintegración térmica de los destilados más pesados que - las naftas fue originalmente practicado como un medio para incrementar la producción de gasolina a partir del crudo. Algunos gasóleos pueden ser desintegrados térmicamente, es decir, sin catalizador, para producir hasta 50% más de gasolina. El proceso, sin embargo, no puede producir más sin una recirculación excesiva de los productos intermedios desintegrados.

La operación de las unidades para la desintegración térmica - del gasóleo es generalmente a temperaturas entre 900 y 1000°F y presiones entre 250 y 750 psig. Hay amplia variedad de condiciones empleadas dependiendo de la calidad de la carga, el porcentaje recirculado en el total de la alimentación y la - calidad del destilado deseado.

El equipo es similar a una unidad de destilación de una sola etapa.

COQUIZACIÓN

Consiste en destilar el crudo hasta obtener coque residual en lugar de un líquido residual. Los procesos contínuos más modernos pueden emplearse para convertir una gran variedad de residuales de bajo valor en nafta, destilados intermedios, carga para desintegración catalítica y gas o coque como subproducto.

En la coquización fluyente, el líquido alimentado se inyecta al lecho del reactor con partículas calientes de coque, las cuales se mantienen fluidizadas por medio de gas y por vapor del separador (stripper). Las partículas calientes del reactor son suministradas de un recipiente quemador donde se mantienen a aproximadamente 1200°F por medio de una combustión parcial de un lecho fluidizado. Las partículas de coque, incrementadas por el coque depositado de la carga en el fondo del reactor, son enviadas al quemador para completar el ciclo.

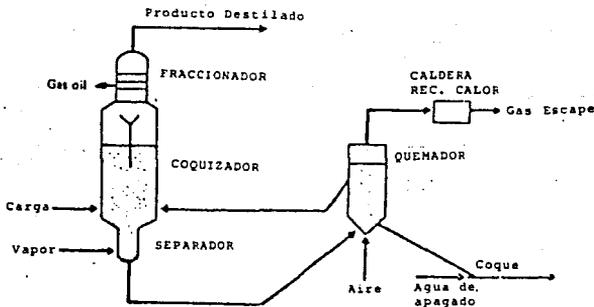


Figura 21. Planta de coquización

COQUIZACION EN DOMOS

El residuo es alimentado a una columna de destilación donde los gases ligeros se flashean. El material restante se combina con los reprocesos y es bombeado a un calentador de fuego directo - que consume gas natural o de refinería, donde es calentado a -- unos 920°F. La mezcla del líquido-vapor que sale del calentador pasa a un domo de coquización. El coque se forma a un predeterminado nivel en un domo, y luego el flujo es desviado al siguiente domo. Todo el domo se vaporiza para desprender los hidrocarburos no convertidos, se enfría con agua, y después es descoquizado con chorros de agua a alta presión. El vapor del domo va a la columna de destilación para su separación en gas, gasolina o gasóleo.

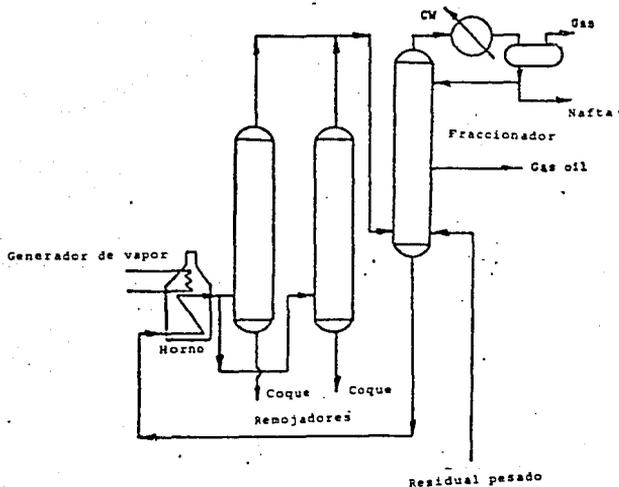


Figura 22.- Unidad de coquización en domos

REFORMACION CATALITICA

Esta operación es empleada principalmente para transformar naftas de bajo octanaje en compuestos de gasolina de alto octano que contienen cantidades significativas de aromáticos.

Estas unidades están compuestas de secciones de:

- a) Reacción. La carga es combinada con un catalizador. - Entre las principales reacciones químicas involucradas está la dehidrogenación de naftas a aromáticos (300-600 psig, 840-1000° F)
- b) Separación. La mezcla producida es enfriada y separada en líquidos y gases.
- c) Fraccionamiento.

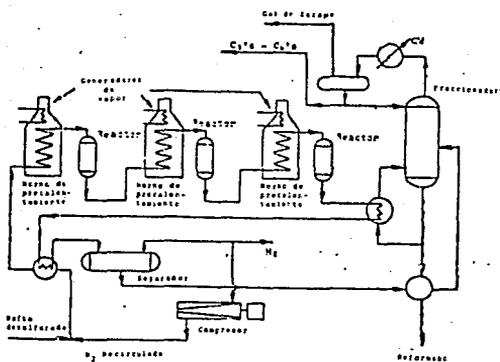


Figura 23.- Planta de reformación catalítica.

HIDRODESULFURACION DE DESTILADOS

La figura 24 muestra la hidrogenación catalítica a alta presión de gasóleos nafta para eliminar el azufre. La carga es mezclada con gas rico en hidrógeno, a temperaturas entre 600 y 850°F, y pasa a través de un reactor que contiene un lecho de catalizador desulfurante. La carga es calentada por los efluentes calientes del reactor, complementado por gas natural o gas de refinera, en el calentador. El producto es separado por los gases en un separador de alta presión, en un separador de baja presión y en un stripper. El calor al stripper proviene de los efluentes calientes del reactor.

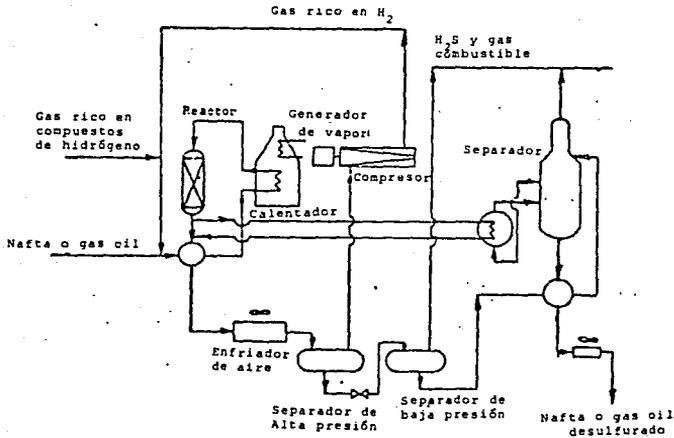


Figura 24.- Hidrodesulfuración de destilados

DESINTEGRACION CATALITICA

Este proceso es empleado para convertir gasoil en productos de menor peso molecular, como gasolinas de alto octano, destilados intermedios y oleofinas.

La carga puede ser gas oil crudo, desintegrado o extraído de una amplia variedad de fuentes, desde destilados ligeros hasta gasoil destilado al vacío y aceites desasfaltados.

La figura siguiente muestra el proceso. El gasoil se precalienta en un calentador de fuego directo a base de gas natural o de refinería y se mezcla con un catalizador en un reactor. El producto sale por arriba y el catalizador gastado pasa a un separador de vapor para remover hidrocarburos mezclados. Posteriormente el catalizador es regenerado en presencia de coque en combustión, para volver a emplearlo. El producto del reactor se envía a una fraccionadora para obtener gas, gasolina y ligeros. El gas de chimenea del regenerador contiene monóxido de carbón combustible.

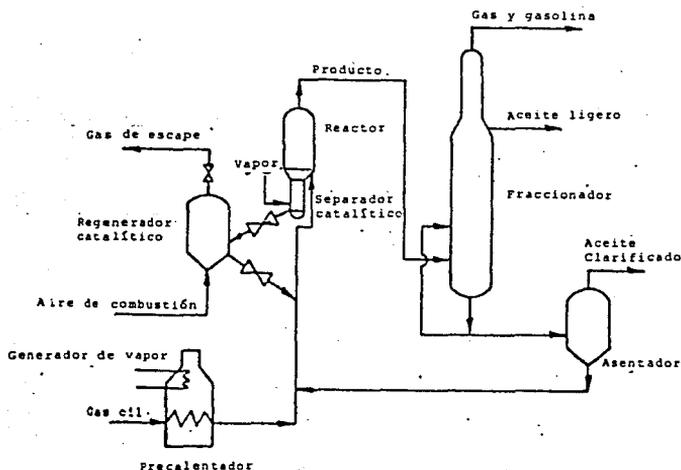


Figura 25.- Unidad para Desintegración Catalítica.

Perfil de Operación Temporal

En su conjunto, las refinerías de petróleo operan ininterrumpidamente durante el año. Sin embargo, las unidades de proceso - sujetan su funcionamiento individual a diversas consideraciones relacionadas con la demanda, el nivel de inventarios, mantenimiento, etc.

Sistema Energético

Los principales combustibles que consumen las refinerías son el gas natural y el combustóleo. Marginal y eventualmente se emplean otros productos refinados como son el coque de petróleo, diesel y gas de refinería.

Todos ellos se queman para producir calor para proceso y/o vapor. La figura 26 muestra el esquema energético aplicado en las refinerías mexicanas, derivado de la superposición de los arreglos parciales detectados para cada refinería.

Esa figura indica que se utilizan tres tipos de calderas, designadas en este trabajo como:

- a) de proceso o calentadores de fuego directo
- b) normales o extras, utilizadas para suministrar volúmenes adicionales de vapor o de respaldo, instaladas en todos los niveles de presión
- c) recuperación de calor de desperdicio.

Con respecto al destino del vapor, se encontró que:

- a) el producido a 60 Kg/cm^2 pasa en su totalidad por turbinas de extracción y condensación para alimentar procesos que lo requieren a 20 y 30 Kg/cm^2

b) Parte del vapor producido a 20, 30 y 42 Kg/cm² es alimentado directamente a las unidades de proceso.

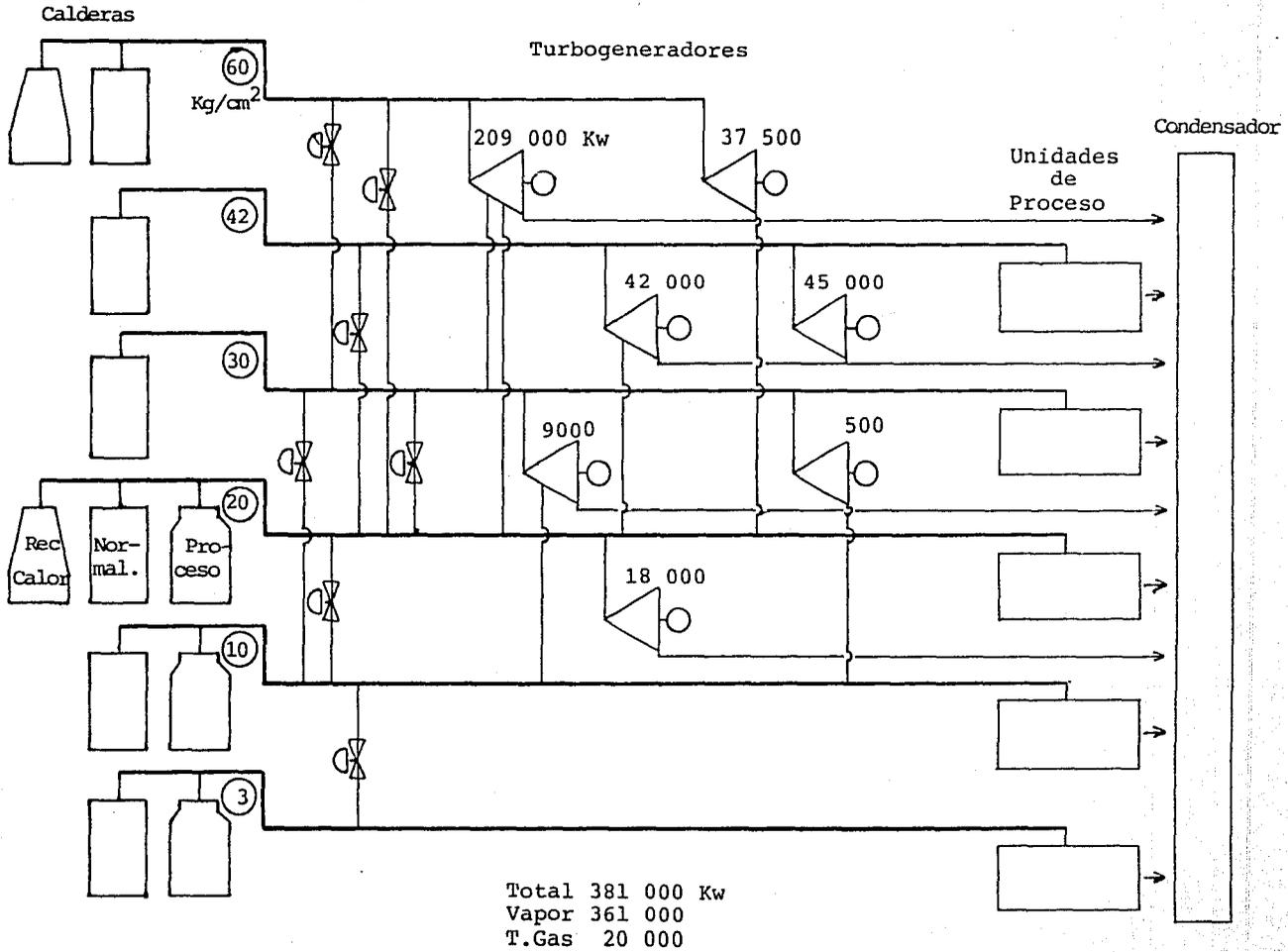
Ahora bien, en cuanto a la disposición de los grupos turbogeneradores, debe aclararse que los arreglos en cascada no están generalizados, como aparenta este diagrama de agrupamiento.

S u m i n i s t r o d e E n e r g í a E l é c t r i c a .

Esta actividad se lleva a cabo por medio del autoabastecimiento y compras a la red pública.

En 1984, el sistema de refinerías tenía instalados 381 000 Kw - de potencia nominal, correspondientes a 22 turbogeneradores con primotores del tipo de condensación, extracción-condensación y contra presión, y 4 turbinas de gas operando en ciclo abierto. La generación de electricidad con sus propios medios fué de --- 1257 Gwh en 1981, y compraron 640 Gwh a la red pública; el factor de planta equivalente para el autoabastecimiento fué de 38%

Figura 26.- REFINERIAS. PRODUCCION DE ELECTRICIDAD.



Diagnóstico de la Cogeneración

Los diagramas que muestran los procesos parciales de la refinación del petróleo conducen a pensar que la cogeneración es una técnica implícita en esos procesos.

La figura 26 señala las características básicas de los esquemas aplicados en México.

Al respecto se observa que entre los tipos de sistemas utilizados están: el topping, para operar turbinas de vapor de contrapresión empleados para impulsar generadores eléctricos, sopladores, compresores y otras máquinas que producen potencia mecánica; el bottoming, pues varios de los procesos desechan gases calientes que son recuperados para producir vapor y luego potencia.

Sin embargo, existen dos conjuntos de turbinas de gas que operan en ciclo abierto.

Por otra parte un aspecto interesante adicional se refiere al hecho de que las refinerías que se localizan adyacentes a las centrales termoeléctricas, operan sin cogeneración interempresarial

Conclusión

Con la información recopilada se puede demostrar que en las refinerías de petróleo existen esquemas de cogeneración en operación.

Sin embargo, es conveniente plantear la necesidad de evaluar -- dos opciones fundamentales:

- a) Revisar el nivel de cogeneración internamente, y
- b) Aumentar el factor de planta de la capacidad propia.

En este último caso se puede alcanzar el autoabastecimiento total e inclusive exportar energía eléctrica a la red pública.

Referencias y Fuentes de Información

1. Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical, Petroleum and Metals Industries. Marshall Sittig. --- Noyes Data Corporation. 1977
2. El Petróleo. Petróleos Mexicanos. Varios años.
3. Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Para estatal.
4. Encuesta sobre el Consumo de Energía en la Industria en 1981. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. - Dirección General de Energía.

Petroquímica Básica y Plantas de Tratamiento de Gas Natural

En 1984 existían 8 centros de estos tipos operando en México, todos a cargo de Petróleos Mexicanos.

Por consideraciones geográficas y de proceso, los módulos de procesos petroquímicos se localizan dentro de las refinerías, combinadas con las plantas de gas o aisladas.

Dependiendo del número de procesos y volúmenes de producción involucrados, se asigna el nombre de planta, centro o complejo.

En esta sección se abordan algunos de los procesos petroquímicos y los dos tratamientos del gas natural detectados como casos reales.

Adicionalmente se muestran dos procesos que pueden ser enmarcados con mayor propiedad en las actividades de servicios auxiliar o subproductos, pero que están íntimamente relacionados con el objeto de estudio.

PLANTA DE AMONIACO

El amoníaco es un compuesto constituido por tres átomos de hidrógeno y uno de nitrógeno. Se elabora utilizando como materias primas gas natural, vapor de agua y aire; de las dos primeras se obtiene el hidrógeno y de la última el nitrógeno resultando como subproducto en el proceso, bióxido de carbono, que tiene varias aplicaciones industriales.

El primer paso del proceso de obtención de amoníaco consiste en hacer pasar el gas natural por carbón activado para eliminar la pequeña cantidad de compuestos de azufre que trae consigo y que deterioran los catalizadores usados en esta planta. El gas purificado es mezclado con vapor de agua en una relación apropiada y con ayuda de un catalizador y altas temperaturas se logra la obtención de hidrógeno. Esta operación se lleva a cabo principalmente en el horno llamado Reformador -- Primario*. Posteriormente la corriente de gases se pasa a un equipo llamado Reformador Secundario donde se mezcla con una corriente de aire comprimido en presencia de un catalizador y a temperaturas en el rango de 1000°C. Además de complementarse la reacción ya iniciada de obtención de hidrógeno, se introduce a la mezcla de gases (con el aire) el nitrógeno necesario para la síntesis posterior del amoníaco.

* Dado que la reacción de reformación primaria es fuertemente endotérmica, para dar el calor necesario para la reacción se disponen de 105 quemadores de gas distribuidos convenientemente a ambos lados de los reformadores. Los gases de combustión son enviados hacia las calderetas para producir vapor de 14 Kg/cm². Estos gases son enviados a la atmósfera por un tiro inducido. El vapor aquí generado es usado en la misma reformación. (Se tomó Cosoleacaque como ejemplo).

A la salida del Reformador Secundario, los gases están constituidos por hidrógeno, nitrógeno y una mezcla de monóxido y bióxido de carbono.

Estos dos últimos, derivados del carbono del gas natural y del oxígeno del aire, fueron formados asimismo en los pasos anteriores y deben eliminarse por ser incompatibles con el catalizador usado en la síntesis del amoníaco, siendo entonces necesario purificar la mezcla separando de ella dichos compuestos indeseables. Esto se logra, en primer término, convirtiendo a bióxido de carbono todo el monóxido existente mediante reacciones catalíticas con vapor de agua, que se llevan a cabo en los mutadores de alta y baja temperatura. Posteriormente se elimina el bióxido de carbono absorbiéndolo en una solución caliente de carbonato de potasio o de monoetanolamina. Para eliminar las trazas de estos componentes se utiliza otra vez una reacción catalítica, combinándolos con hidrógeno y convirtiéndolos otra vez en Metano. Ya purificada la mezcla de hidrógeno y nitrógeno, se aumenta su presión hasta el nivel requerido para que, en presencia de un catalizador y a temperatura controlada se lleve a cabo la formación de amoníaco. El producto se licúa por medio de un sistema de refrigeración y se envía posteriormente a las esferas de producción. El subproducto bióxido de carbono se obtiene haciendo hervir la solución de carbonato de potasio a la monoetanolamina que se usó para eliminar este compuesto. El producto se separa en forma de gas por la parte superior de una torre denominada regenerador y por el fondo de dicha columna se obtiene una solución fresca que se recircula al proceso.

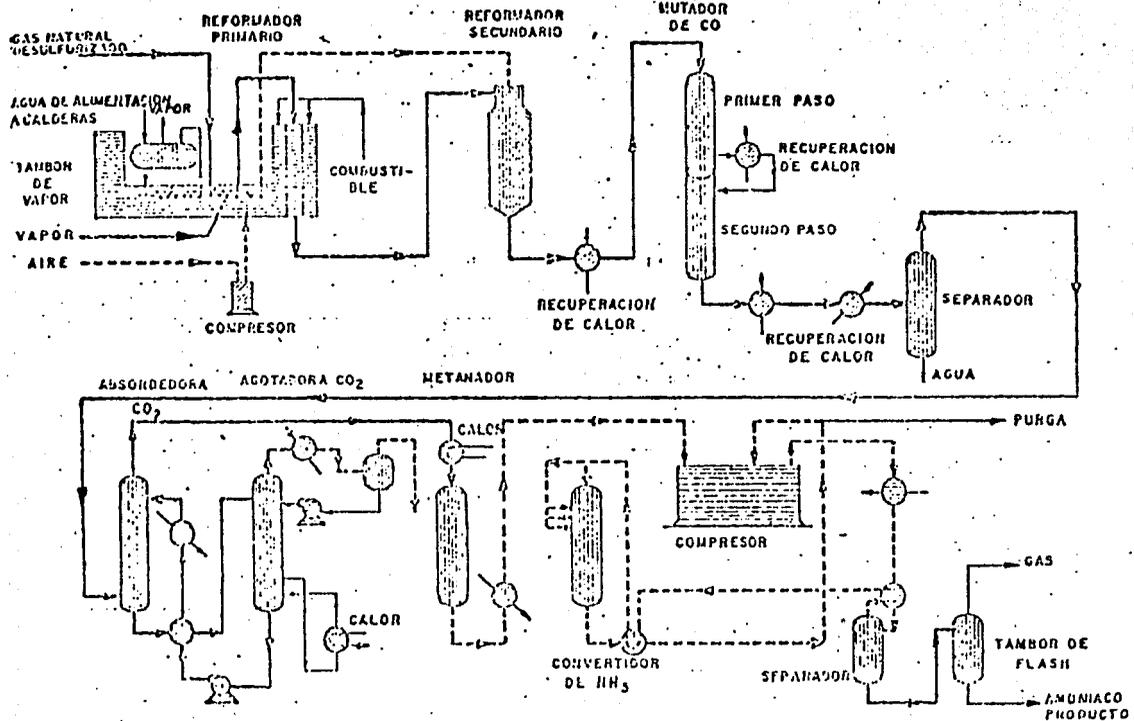


Figura 27.- ELABORACION DE AMONIACO

PLANTA DE ETILENO

A fin de obtener el etileno, se cargan etano fresco y etano de recirculación a los hornos de pirólisis, donde, por efecto de la alta temperatura, se modifican las moléculas del gas transformándose en etileno, hidrógeno y otros subproductos como metano, propileno y butadieno.

De los hornos, la mezcla gaseosa va a la columna de apagado, -- donde se enfría hasta 40°C, pasando luego a la sección de compresión en la que su presión se eleva hasta 38 Kg/cm², en cuatro etapas, efectuándose la eliminación de anhídrido carbónico, ácido sulfídrico y humedad, para entrar después a la sección de subenfriamiento, donde se separa el hidrógeno

Los líquidos condensados en esta sección entran a la de recuperación de productos, la que comprende una columna desmetanizada, una desetanizadora, una fraccionadora de etileno, una despropanizadora y una fraccionadora de propano propileno.

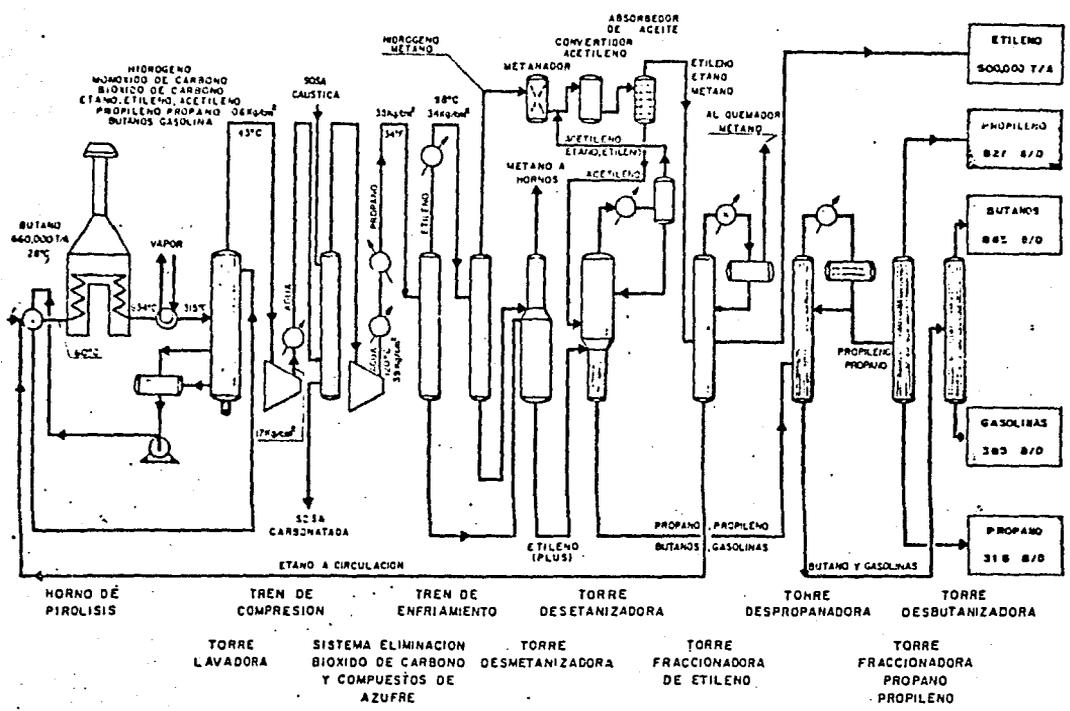


Figura 28.- PLANTA DE ETILENO

PLANTA DE OXIDO DE ETILENO.

El proceso de esta Planta se basa en la oxidación de etileno con oxígeno de alta pureza en presencia de un catalizador sólido de óxido de plata.

El etileno en forma gaseosa se alimenta a un compresor a fin de incrementar su presión, para posteriormente mezclarse con el --

oxígeno. Esta mezcla entra a un reactor del cual se obtiene el óxido de etileno. La corriente gaseosa del reactor se envía a una torre absorbidora en donde se separa el óxido de etileno -- por absorción del agua, de los gases de recirculación. El agua rica en óxido de etileno pasa a una torre agotadora, de donde -- se obtiene, por el fondo, agua con glicoles y, por el domo, la corriente rica en óxido de etileno, la cual, después de ser tra-- tada en una torre reabsorbidora, una refinadora y un segundo -- agotador, se envía a almacenamiento.

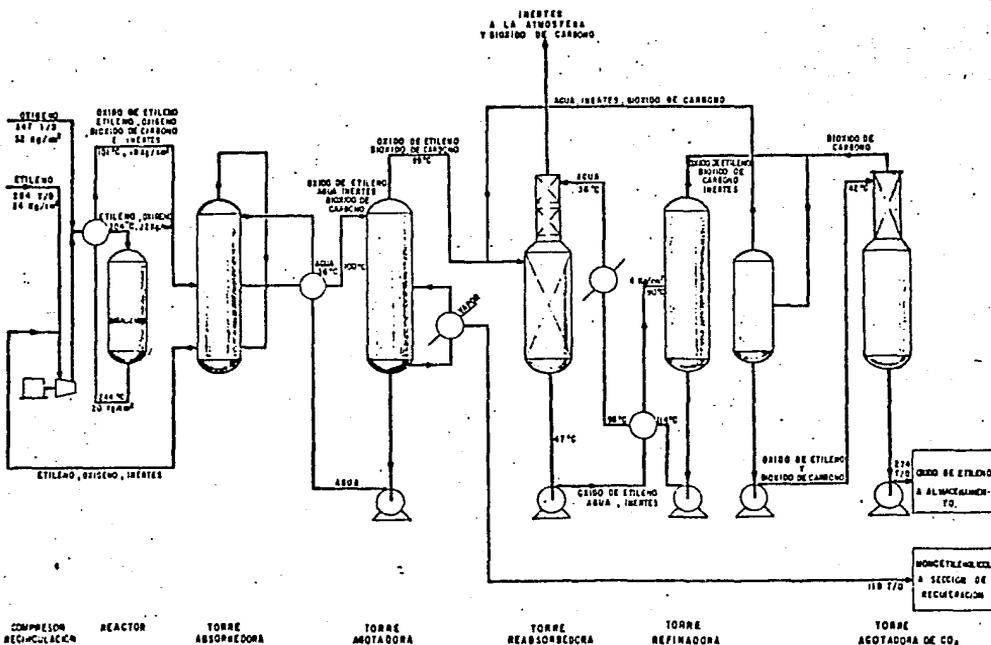


Figura 29.- PLANTA DE OXIDO DE ETILENO

PLANTA DE ESTIRENO

El proceso para la elaboración de estireno se efectúa en cuatro áreas, que son:

1.- Alquilación y transalquilación

En esta área, el etileno proveniente de la planta que lo produce, junto con benceno de la torre lavadora, reacciona en un alquilador que contiene un catalizador a base de cloruro de aluminio, para después pasar al transalquilador. Los efluentes de éste se envían a un tambor de vaporización de donde los hidrocarburos ligeros separados se mandan a una torre de benceno seco.

La porción más pesada se envía a la sección de recuperación.

2.- Destilación de benceno y etilbenceno

En esta área, la corriente libre de catalizador se alimenta a una torre de destilación de benceno, para pasar a una torre de destilación, obteniéndose etilbenceno que se manda a un tanque de almacenamiento intermedio.

3.- Deshidrogenación

La corriente de etilbenceno procedente del tanque intermedio se alimenta a un calentador que opera a 325°C, luego pasa al reactor de deshidrogenación, donde el etilbenceno se convierte en estireno.

Los efluentes entran a una sección de separación y enfriamiento donde se obtiene una mezcla deshidrogenadora que se almacena, a su vez, en un tanque intermedio.

4.- Recuperación de etilbenceno

La mezcla deshidrogenada se alimenta a una "splitter" de -- etilbenceno, de donde salen dos corrientes que se procesan en la torre recuperadora de etilbenceno y en la de destilación del estireno. De éstas, se separa el etilbenceno, que luego de purificado, sale como producto final.

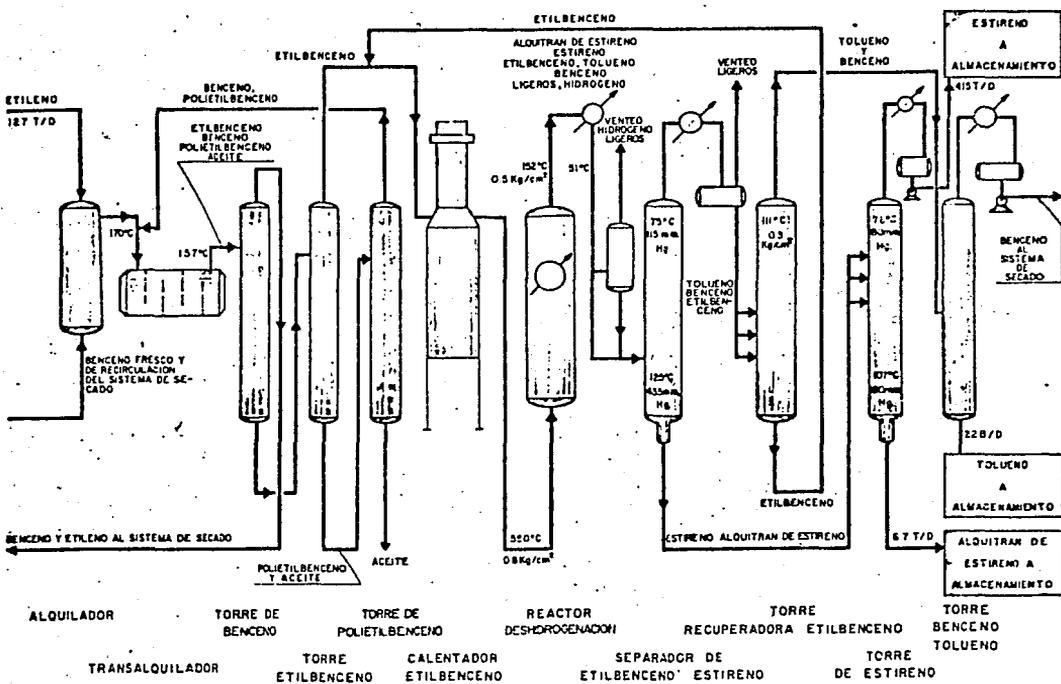


Figura 30.- PLANTA ETILBENCENO ESTIRENO

Supercalentador, Reactor y Equipo de Enfriamiento.

El suministro de energía para la reacción está compuesto por vapor, gas natural y gas de proceso desperdiciado. La mayor parte del vapor se emplea como diluyente para reducir la presión parcial del etil benceno y por ende permitir el incremento de conversión en la reacción.

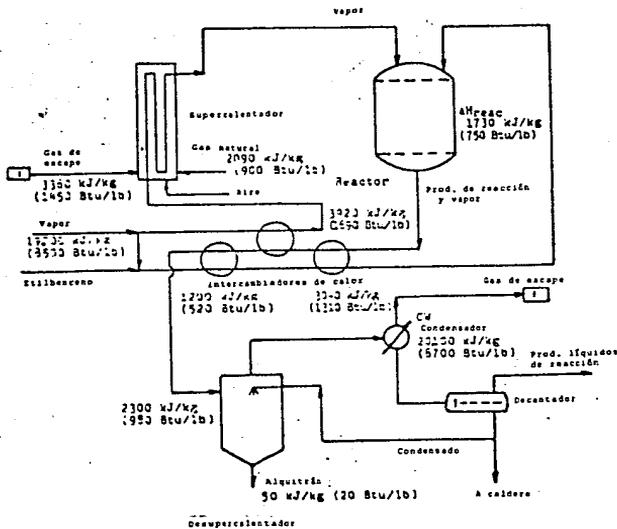


Figura 31.- Supercalentador, Reactor y Equipo de Enfriamiento de la planta de Etilbenceno-Estireno.

Aprovechamiento de calor de desperdicio para desalar agua en una planta de estireno.

Como se muestra en el diagrama, en el reactor de deshidrogenación 4 se mezclan vapor, etilbenceno de la línea 2 y etilbenceno recirculado de la torre 24. (Figura 32).

El resultado de esta reacción contiene estireno, etilbenceno no reaccionado, tolueno, benceno, gases residuales (hidrógeno, CO, CO₂, etano, etileno, etc.), agua y otros subproductos, y pasa por un intercambiador de calor 8 donde el etilbenceno toma calor de alta temperatura y después se entrega a un enfriador del producto donde se emplea agua fría para condensar el agua a una temperatura relativamente baja.

El producto enfriado pasa a un separador 12 donde se eliminan el agua 14 y gases residuales 16.

El producto líquido, que contiene estireno, pasa a la columna de benceno-tolueno que forma parte de la unidad de destilación de etapas múltiples.

La recuperación de calor de desperdicio de baja entalpía del flujo que sale del reactor requiere de un evaporador flash 40, el cual puede consistir de varias etapas, por ejemplo 3, A, B y C, y puede ser del tipo de tubos verticales u horizontales. El número de etapas dependerá de la cantidad de agua a destilar. El evaporador se opera a una presión subatmosférica y no requiere de elementos auxiliares de calentamiento, puesto que el ca--

Plantas de Tratamiento de gas natural

El propósito de estas plantas es separar los hidrocarburos como el etano y gasolinas naturales que trae consigo el gas natural de los yacimientos

Por los procesos fisicoquímicos involucrados se pueden clasificar en absorción y criogénicos.

Planta de absorción (La Venta, Tab.)

Los volúmenes de gas de los diferentes campos se reciben en la planta, primeramente, en una estación de medición, pasando después el volumen total a un separador de entrada, en donde se separan el agua y condensado líquido que trae consigo el gas húmedo; a la corriente de gas que sale de este separador se le inyecta una solución de dietilenglicol y en seguida pasa a un tren de enfriamiento en donde se enfría desde 38°C hasta 1°C, intercambiando calor, primero con el gas seco frío y después en un enfriador con propano de un sistema de refrigeración.

Con este enfriamiento se obtienen hidrocarburos condensados -- que, mezclados con la solución de dietilenglicol y con el gas, pasan a un separador en donde las tres fases se apartan.

Posteriormente se procesan por separado las corrientes de gas, condensado y dietilenglicol.

El gas pasa a las torres de absorción de donde sale seco con -

una composición aproximada de 89 por ciento de metano, 9 por --
ciento de etano y 2 por ciento de propano.

El condensado pasa a un tanque depresor donde se separa princi-
palmente metano y después a una torre desetanizadora.

El dietilenglicol, diluido con el agua absorbida, pasa a un sis-
tema de regeneración, para después volver a utilizarse en el --
proceso.

El aceite de absorción, rico en hidrocarburos absorbidos, pasa
a un tanque depresor donde se separa principalmente metano y -
después, sucesivamente a una torre desmetanizadora; a una dese-
tanizadora y finalmente, a un alambique en donde el aceite se -
empobrece, separándose los hidrocarburos que anteriormente fue-
ron absorbidos. Estos se mezclan con el condensado estabiliza-
do. Esta mezcla constituye la gasolina de absorción que de es-
ta planta se envía a través de un oleoducto, a la refinería de
Minatitlán.

Planta Criogénica (Cd. Pemex, Tabasco)

Fue concebida para la recuperación de licuables (etano y más pesados) contenidos en los gases húmedos provenientes de los yacimientos existentes en el área adyacente a esta ciudad.

En esta planta se aplicó la técnica de autoexpansión del gas que, complementada con refrigeración adicional por evaporación con propano, permite bajar las temperaturas hasta en rango de -85°C donde, por destilación se recupera hasta 95% del propano y el 100% de los hidrocarburos más pesados que éste.

Proceso

El gas húmedo proveniente de los campos de alta presión (140 millones de pies cúbicos) pasa a un recipiente donde se separan los líquidos que pueda contener y, posteriormente, a un expansor isoentrópico, donde se reduce la presión de 78 a 58 kilos. A la salida del expansor pasa a un separador de líquidos donde se le juntará la carga proveniente de los campos de baja presión que será de 50 millones de pies cúbicos.

El gas pasa a la sección de secado, en esta sección por medio de lechos fijos de alúmina activada, a una presión de 58 kilos, se elimina el agua en equilibrio que contiene el gas húmedo con el objeto de evitar la formación posterior de hidratos y/o en la parte de la planta donde el gas se enfría a temperatura abajo de 0°C

Después de deshidratado, el gas se encontrará en condiciones de ser sometido al proceso de enfriamiento, el cual se iniciará en un tren de cambiadores de calor en donde el gas alimentado se enfriará contra gas residual, contra gas de proceso y contra -- propano refrigerante. A través de esta batería de cambiadores, se abate la temperatura desde 30°C hasta -60°C, lográndose a esta última condición, una separación de los líquidos más pesados. La separación entre las fases líquida y gaseosa, se efectúa en los tanques de succión del compresor y expansor, que son instalados más adelante de los cambiadores de calor.

Después de enfriarse por intercambio de calor, el gas se somete a enfriamiento por expansión, donde se aprovecha mecánicamente la energía de expansión del gas pre-enfriado, al mismo tiempo - que, como resultado de esa expansión, se alcanza el mayor nivel de enfriamiento, de temperatura, a la cual el material de proceso está listo para realizar la separación de sus componentes, - por fraccionamiento. Al efectuarse la expansión, la energía recuperada se aprovecha para comprimir parcialmente el gas residual al gasoducto Ciudad Pemex-México

La corriente que se obtiene a la salida del expansor es una mezcla de gas y líquido. La fase gaseosa está formada, en su mayor parte, de metano.

Los materiales líquidos y gaseosos provenientes de enfriamiento se alimentarán a una torre desmetanizadora en dos niveles diferentes de acuerdo con su temperatura y composición. En esta co-

lumna se separará el metano por el domo con una pureza de 98 %, en tanto que por el fondo saldrán el etano, propano y demás -- hidrocarburos pesados, que componen el gas alimentado.

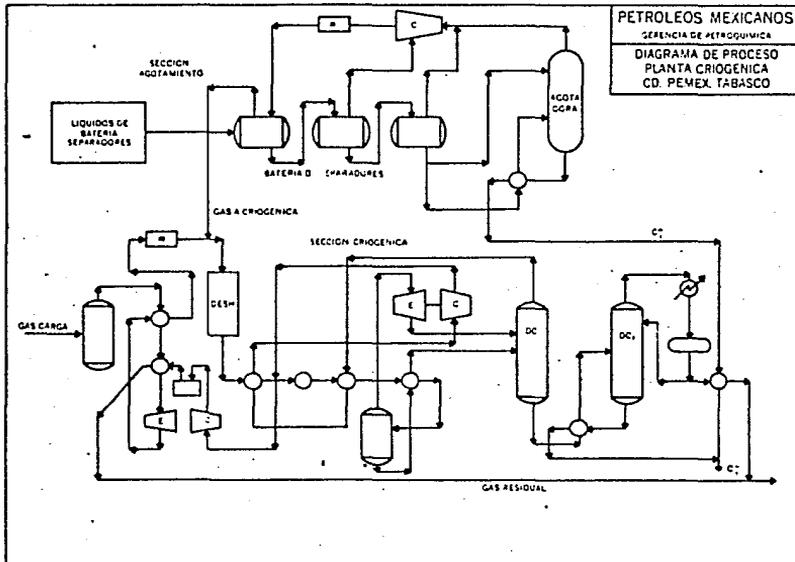


Figura 34.- Planta Criogénica

Los fondos de la columna desmetanizadora pasarán a una segunda torre, la desetanizadora, en la cual se separarán, el etano por el domo y por el fondo propano e hidrocarburos más pesados. El etano irá a unirse con el metano para juntos formar el gas residual que será inyectado al gasoducto Ciudad Pemex-Pajaritos y

en este complejo será separado nuevamente el etano usando para ello el proceso de la planta criogénica. El propano e hidrocarburos más pesados del fondo de la desetanizadora se unirán con los obtenidos en el fondo de la columna agotadora, y juntos se enviarán por el poliducto Ciudad Pemex-La Venta-Pajaritos-Minatitlán, para que en la refinería de este último lugar sean procesados.

El gas residual obtenido del domo de la torre desmetanizadora a una presión de 28 kilos/cm² se comprime primero usando el compresor del expansor hasta una presión de 31 kilos y posteriormente en compresores centrífugos accionados por motores eléctricos de 5,000 caballos cada uno hasta una presión de 79 kilos para ser enviado al gasoducto Ciudad Pemex-México.

Sistema Energético

El combustible principal de los centros petroquímicos del país es el gas natural y se emplea en los calentadores de fuego directo, los cuales tienen la función de calentar la carga de -- proceso y generar vapor.

El vapor se utiliza para proceso y fuerza derivado de la participación de compresoras, ventiladores, bombas y otros equipos similares.

Cabe mencionar que en la información consultada, se encontró que la política de diseño de todas las plantas de amoníaco - instaladas por Petróleos Mexicanos consistió en utilizar el mínimo de motores eléctricos, "aprovechando las posibilidades -- más prácticas de recuperación de calor para generar vapor y no ver su equipo por medio de turbinas, incluyendo el derivado de algunos gases combustibles o ciertas reacciones exotérmicas".

Suministro de Energía Eléctrica.

A pesar de que los requerimientos de energía eléctrica son reducidos, en 1984, se tenían instalados 505 000 Kw de potencia en 28 unidades; correspondientes a 180 000 Kw en turbinas de - vapor y 325 000 Kw en turbinas de gas.

Las cifras anteriores incluyen los centros petroquímicos, las plantas de gas y la terminal marítima de productos de Pajaritos, Ver.

En ese año la generación propia fue de 1461 Gwh y las compras a la red pública de 668 Gwh; el factor de planta resultó de - 33%

Diagnóstico de la cogeneración

Con la información recopilada se logró integrar el diagrama de la figura 35 que muestra la superposición de los esquemas empleados para producir vapor, potencia mecánica y electricidad en el conjunto de las plantas petroquímicas y tratamiento de gas natural.

Se observa que los sistemas aplicados son topping y bottoming. Además de los calentadores a fuego directo, esas instalaciones cuentan con calderas de recuperación de calor y del tipo convencional para producir vapor a condiciones estables o de respaldo.

Asimismo, la mayor parte de la potencia eléctrica instalada - corresponde a turbinas de gas (toda en ciclo abierto), posiblemente por la necesidad de contar con un respaldo redundante, debido a la continuidad de los procesos.

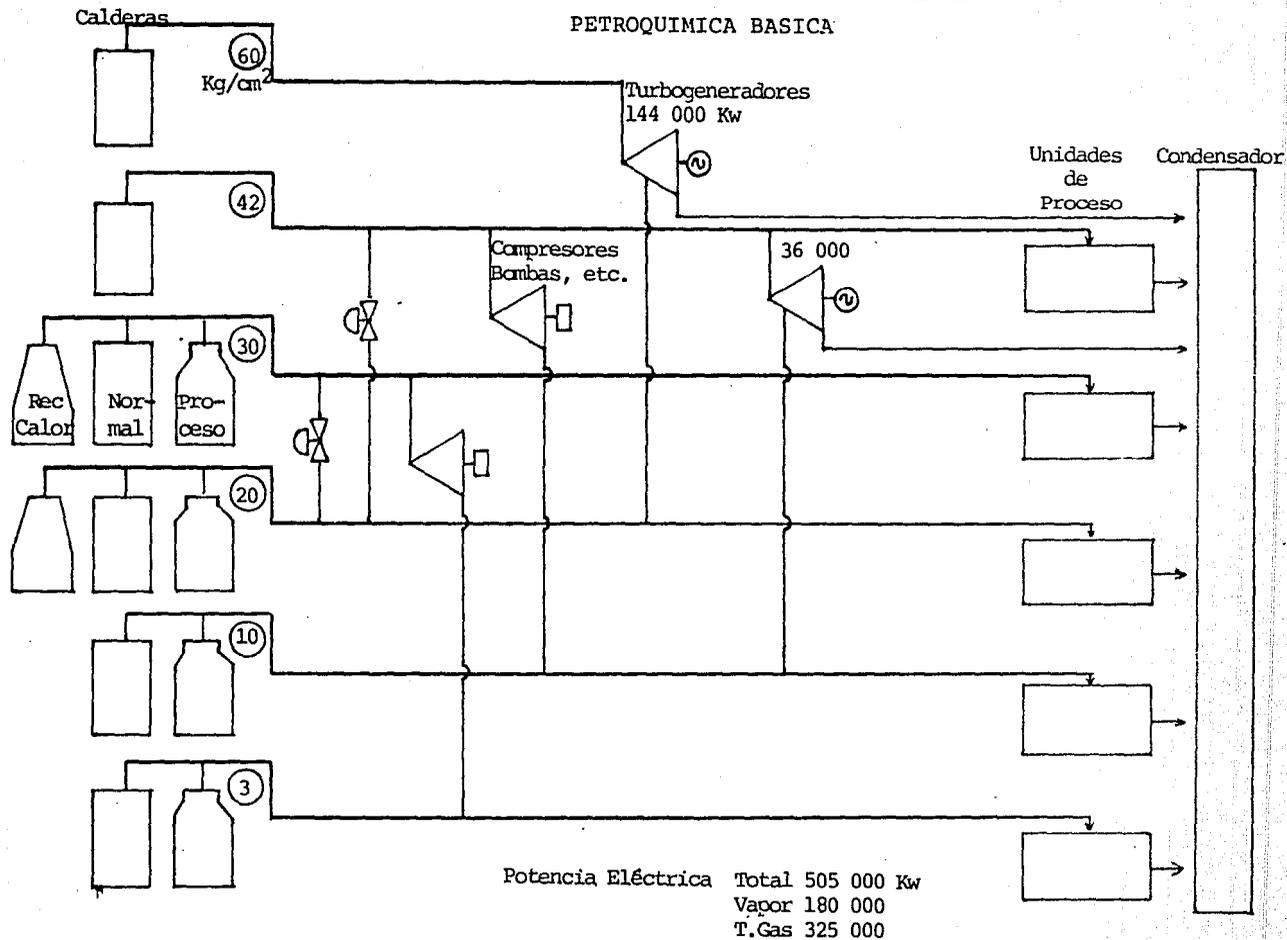
Conclusión

A pesar de que la cogeneración ha sido considerada como elemento de diseño en estas plantas de proceso estudiadas, con la particularidad de que están orientadas a la obtención de potencia mecánica, queda manifiesto que existen oportunidades para aumentar el nivel de cogeneración logrado, a partir de la integra--

ción de las turbinas de gas a los procesos

El incremento del factor de planta eléctrico del conjunto es otra opción que debe tomarse en cuenta para aumentar la disponibilidad de energía eléctrica en el país.

Figura 35.- PRODUCCION DE POTENCIA ELECTRICA Y MECANICA
PETROQUIMICA BASICA



Referencias y Fuentes de Información

- 1.- Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical , Petroleum and Metals Industries. Marshall Sittig. Noyes Data Corporation. 1977
- 2.- El Petróleo. Petróleos Mexicanos. Varios años
- 3.- Padrón de Permisos de Autoabastecimiento de Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Parastatal.
- 4.- Encuesta sobre el Consumo de Energía en la industria en 1981. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. - Dirección General de Energía
- 5.- Complejo Petroquímico La Cangrejera. Petróleos Mexicanos. 1981.

P A P E L

Durante la investigación se identificaron 21 plantas de fábricas de papel con permisos de autoabastecimiento eléctrico.

Materias Primas

Casi todos los papeles están hechos de fibras celulosas (vegetales).

La fuente más prolífica de celulosa en la naturaleza son los bosques, aunque los árboles difieren en el contenido de su fibra para hacer papel; otra fuente secundaria son las fibras de lino, - algodón, yute, etc., derivadas de telas o ropa usada; también se emplean desechos agrícolas como paja, tallos de maíz, bagazo de caña, bambú, etc., en gran cantidad; finalmente, una de las fuentes más importantes para hacer papel es la fibra recuperada de papeles, bolsas y cajas viejas.

Pulpa

Es la pasta que concentra la celulosa para la fabricación de papel, y se puede obtener por medio de procesos mecánicos (Moliendo y cernido) o químicos (cocimiento en digestores).

Para elaborar la pulpa química se utilizan soluciones de ácidos sulfatados; sosa cáustica, sola o combinada con sulfito de sodio.

En cada proceso, la madera debe ser astillada para su cocción - en los digestores donde se mezcla con las soluciones químicas o licores de cocimiento. La mezcla es cocida con vapor para sepa

rar los compuestos solubles de las fibras. Posteriormente se saca el licor (negro) del digestor y las astillas ablandadas (pulpa), pasan a otro recipiente para darle consistencia. El licor negro recibe un tratamiento químico y se atomiza en una caldera donde se quema para generar vapor.

Para producir la mayor parte de los papeles, la pulpa obtenida todavía debe ser tratada mecánicamente, batida en presencia de calor y refinada, para mejorar su calidad al tacto y fortaleza. Las máquinas que elaboran el papel pueden dividirse en cuatro - secciones: 1) acabado húmedo; 2) prensado; 3) secado, y 4) aspereza.

En el acabado húmedo la pulpa mojada fluye a través de una compuerta hacia la parte superior de una banda de tela sin fin en movimiento que cuenta con medios para extraer el agua y formar sábanas de papel

En la sección de secado existen dos o más filas de cilindros calentados a vapor.

La sección que da el acabado de suavidad deseado cuenta con dispositivos para el enrollamiento del papel.

Sistema energético

A partir de la descripción del proceso se encuentra que esta industria es susceptible a la cogeneración, pues requiere vapor de baja presión y calor.

En cuanto al empleo de energéticos residuales sobresale el uso -- de licores combustibles derivados del cocimiento de la materia - prima.

Aspectos Eléctricos.

La capacidad instalada en 1984 fue de 189 928 Kw en 28 unidades de vapor y una de turbogas de 38 500 Kw.

El reporte de generación de electricidad señala que en ese año se produjeron 399 607 Mwh, correspondientes a 166 678 Kw; 4 500 Kw no operaron y el resto no había informado a la fecha de la consulta

Ahora bien, se piensa que no se incurre en un error mayor si se estima la generación total de la industria, para fines comparativos.

En este caso puede suponerse que los 17 800 Kw que faltan de comunicar sus resultados, operaron con el factor de planta de 27% que corresponde al conjunto de empresas que sí reportaron, generándose 42 101 Mwh. La generación total sería de 441 708 Mwh. Por otra parte, las compras de electricidad realizadas en la tarifa 12, por un grupo de empresas que acumulan el 40% de la capacidad instalada, fué de 382 Gwh; se supone que las demás empresas contratan la tarifa 8.

Diagnóstico de la cogeneración

Aunque no fué posible consultar los esquemas de instalación del equipo eléctrico y su relación con el proceso en todas las plantas registradas, en los diversos casos analizados sí se encontraron arreglos de cogeneración.

Por eso, considerando el tipo de proceso y las muestras estudiadas, puede suponerse que la cogeneración en la industria manu--facturera de papel en México está ampliamente difundida.

Conclusión

De acuerdo a los resultados parciales, puede concluirse que en esta industria existe un potencial interesante para producir energía eléctrica a partir de la cogeneración.

Referencias y Fuentes de Información

Enciclopedia Británica

Padrón de Permisos de Autoabastecimiento de Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal

Relación de usuarios de la Tarifa 12. Departamento de Consumidores. Comisión Federal de Electricidad.

QUIMICA

En esta categoría se agruparon las empresas que emplean procesos relativos a la elaboración o manejo de: hules, explosivos, fotografía, fertilizantes, gases, sosas, azufre y petroquímica secundaria (incluyendo algunos textiles).

Con la información disponible se determinó que operaron 27 plantas de estos tipos con permisos de autoabastecimiento de electricidad, durante 1984

Procesos

Por la diversidad de tecnologías y la dificultad práctica de recopilar la información correspondiente a cada caso, se tuvo la necesidad de omitir su presentación, aunque se puede comprobar en las fuentes de información consultadas, que algunos de ellos requieren calor o vapor.

Sistema Energético

Todas estas ramas industriales consumen gas natural y combustible como energéticos primarios, parte de los cuales se usan para generar vapor y eventualmente electricidad

Suministro de Energía Eléctrica

Desde el punto de vista de autoabastecimiento de electricidad se encontró que existían instaladas 32 unidades turbogeneradoras y una turbina de gas (3200 Kw) en 1984

La capacidad eléctrica instalada en ese año fue de 151 360 Kw y se reportó una generación de 690.17 Gwh correspondiente a - 127 260 Kw (el resto no había informado a la fecha de la consulta), el factor de planta resultante con las unidades que - operaron fue de 62%. La generación total estimada es de 821 Gwh

Diagnóstico de la Cogeneración

Tomando en cuenta que 15 de las plantas mencionadas corresponden a las ramas de fertilizantes y petroquímica secundaria, que utilizan procesos afines a la cogeneración, puede suponerse que esta técnica ha sido ampliamente considerada en los procesos -- químicos aquí agrupados.

Entre las muestras estudiadas se encontraron sistemas topping con turbinas de contrapresión y extracción-condensación. También la turbina de gas presentaba un esquema de este tipo.

Conclusión

Es escasa la información disponible para determinar con cierta objetividad el grado de desarrollo de la cogeneración en esta rama industrial.

Sin embargo, es conveniente tomarla en cuenta como una posibilidad para ahorrar energía y producir electricidad adicional.

Referencias y Fuentes de Información

**Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad.
Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal**

**Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical,
Petroleum and Metals Industries. Marshall Sittig. Noyes
Data Corporation. 1977.**

MINERIA

Esta rama de actividad económica incluye los procesos relativos a la extracción y beneficio de carbón, zinc y cobre.

En el presente estudio se detectaron 12 empresas con permiso para autoabastecimiento de electricidad en 14 centros de trabajo.

Procesos

Con el propósito de dar un tratamiento global a la descripción de los procesos involucrados, a continuación se aborda el caso del cobre. El diagrama de bloques de la figura 36 es de utilidad para identificar las distintas etapas desarrolladas en varias especialidades mineras.

Cobre.

Para producir cobre existen dos procesos pirometalúrgicos. Estos son: a) tostado, fundición y conversión, y b) fundición y conversión.

Los concentrados de cobre (que continen alrededor de 25% de cobre) son tostados para convertir algunos sulfatos en óxidos y para eliminar algo de azufre. La mayor parte de la energía utilizada en esta operación proviene del azufre del concentrado quemado. El producto tostado (calcine) se envía al horno de reverberación con agentes fundentes adecuados. En otros casos, los concentrados se cargan directamente al horno reverberador.

Generalmente, el calor contenido en los gases de escape de este horno se recuperan en calderas de recuperación de calor. Hasta el 50% de la energía del combustible consumido por el horno es recuperado y empleado para generar vapor, que es usado en la planta eléctrica o consumido en la operación de otras instalaciones de la planta.

El producto útil del horno de reverberación es mata, una mezcla de cobre y sulfatos de hierro que contienen de 30 a 60% de cobre. Esto es transferido a los convertidores, los cuales son cilindricos y el aire es soplado a través de la mata para oxidar el hierro y el azufre que contiene, dejando un cobre blister impuro que tiene entre 98 y 99 % de cobre. La mayor parte del calor para la operación del convertidor es suministrado por la oxidación del hierro y el azufre.

Después de la conversión, el blister es refinado a fuego para desoxidarlo y purificarlo. Se pasa posteriormente para colarlo en ánodos para refinación electrolítica. En la refinación a fuego, el metal fundido es tratado en primer lugar para completar la oxidación del hierro residual y otras impurezas menores, posteriormente es reducido empleando gas natural para bajar el contenido de oxígeno a alrededor de 0.17%

Los ánodos son enviados a las refinerías donde son refinados electrolíticamente a cobre catódico que contiene casi 99.8 % de cobre.

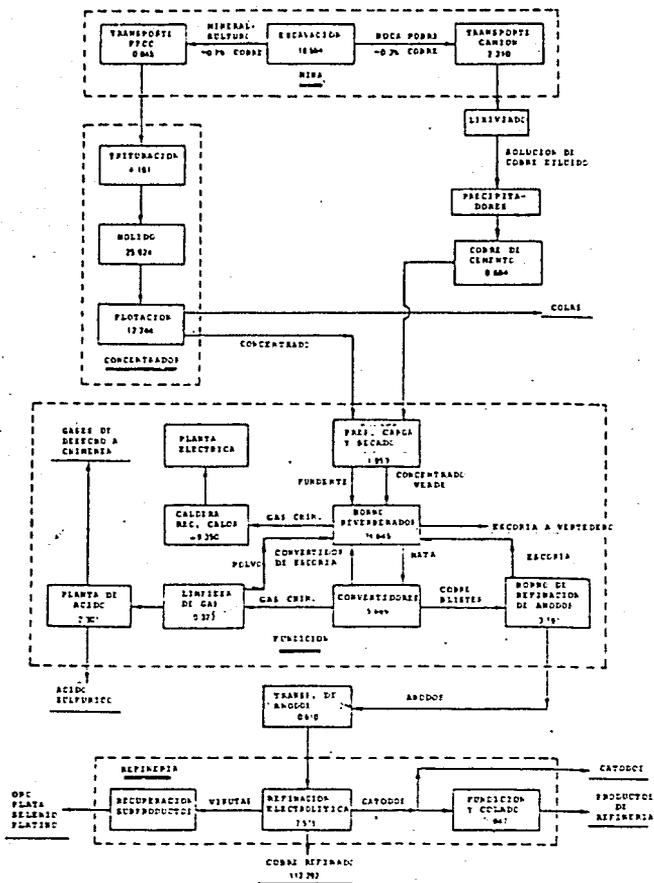


Figura 36.- PRODUCCION DE COBRE REFINADO EN UN PROCESO CONVENCIONAL DE MINADO Y FUNDICION.

Sistema Energético

Los energéticos primarios utilizados en las instalaciones mineras localizadas son el combustóleo y el gas natural. La demanda de electricidad se satisface en parte con autoabastecimiento, pero principalmente por el suministro de la red pública.

De acuerdo a la descripción del proceso de cobre, en la etapa de tostado se producen calores de desperdicio recuperables.

Suministro de Energía Eléctrica

Se encuentran registradas 16 unidades turbogeneradoras de electricidad, cuya capacidad nominal suma 64 200 Kw; la generación reportada en 1984 para 55 920 Kw fue de 114.62 Gwh; el factor de planta correspondiente es de 23%; la compra de electricidad en tarifa 12 fue de 1033 Gwh. Se estiman 129 Gwh generados en total. La potencia detectada en cogeneración es de 47 150 Kw

Diagnóstico de la Cogeneración

La información consultada muestra que 6 de las unidades de generación de electricidad han sido instaladas en esquemas de cogeneración, aprovechando los calores de desperdicio de algunos hornos para producir vapor, el cual es utilizado para generar electricidad y potencia mecánica que impulsa turbinas acopladas a sopladores, compresores y otros equipos mecánicos, es decir, sistemas bottomming.

Conclusión

A partir de la información consultada puede concluirse que la industria minera ha considerado los aspectos cogenerativos en su proceso

No obstante el bajo factor de planta estimado, hace pensar en la posibilidad de obtener energía eléctrica adicional.

Referencias y Fuentes de Información

Practical Techniques for Saving Energy in the Chemical Petroleum and Metals Industries. Marshad Sittig. Noyes Data Corporation, 1977

Servicios y Sistemas de Apoyo. Plan de Expansión. Compañía Minera de Cananea, S.A. Sept. 1982

Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Parastatal.

Relación de usuarios de la Tarifa 12. Departamento de Consumidores. Comisión Federal de Electricidad.

CERVEZA

En México existen 3 empresas en esta actividad con permiso para el autoabastecimiento eléctrico y operan 4 plantas de proceso.

La materia prima para su elaboración consiste de: malta, que es la cebada germinada; lúpulos, que imparten el sabor y aroma, y sus compuestos actúan como preservador; agua, y levadura, empleada para convertir el azúcar fermentable en alcohol etílico y bióxido de carbono.

Proceso de elaboración

Las principales etapas son: amasado, cocimiento y fermentación. Antes del amasado la malta es molida para obtener harina. El hollejo debe permanecer lo más entero posible pues será empleado posteriormente como un lecho filtrante.

Amasado. Consiste en mezclar la malta molida (harina y hollejo) con agua atemperada a unos 150°F. La reacción principal es la desintegración del almidón insoluble en el endospermo de la cebada. Posteriormente se convierte en maltosa soluble y otros azúcares y dextrinas por medio de enzimas amilolíticas y amilasas α y β que están presentes en la malta.

Cocimiento. Después del amasado, y a veces filtrado, el mosto es cocido en un tanque de cobre. Esto evita cualquier -- acción enzimática posterior y coagula una gran parte del material proteínico. El cocimiento también esteriliza el mosto, - lo concentra y sirve para añadir el lúpulo.

La duración del cocimiento depende del tipo de cerveza que será elaborada, pero generalmente es de dos horas.

Los tanques de cocimiento actuales emplean tubos de calentamiento, chaquetas de vapor o sistemas percoladores.

Después del cocimiento, el mosto es filtrado, rápidamente para remover los lúpulos; el mosto caliente pasa por una centrífuga de alta velocidad para adquirir más claridad o directamente a un enfriador.

Fermentación. Se lleva a cabo para producir una cerveza estable que pueda almacenarse satisfactoriamente, y consiste en añadir levadura al mosto.

La mayor parte del material fermentable se convierte en alcohol en ocho días; la cerveza "verde" se pasa a depósitos de almacenamiento.

Sigue un período de reposo donde la cerveza mejora su sabor, produciéndose una segunda fermentación.

Una vez completada la fermentación la cerveza es embotellada o enlatada.

Sistema Energético

Los combustibles empleados son el combustóleo y el gas natural

Suministro de Energía Eléctrica.

En 1984 la capacidad instalada para generar electricidad fué de 29 960 Kw, en 11 unidades; la producción fue de 139.1 Gwh; la electricidad comprada en tarifa 12 por 2 plantas fué de 5.1 Gwh

Con estos datos se determinó un factor de planta eléctrico de 53%

Diagnóstico de Cogeneración.

Se determinó que los permisos de autoabastecimiento eléctrico involucran turbogeneradores con turbinas de contrapresión. Es to es, sistema topping.

Conclusión

A partir de los conceptos anteriores se concluye que la cogeneración ha sido considerada en esta rama industrial.

Referencias y Fuentes de Información

Enciclopedia Británica

Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal

Relación de usuarios de la Tarifa 12. Departamento de Consumidores. Comisión Federal de Electricidad.

TEXTIL

Las plantas de la industria textil pueden clasificarse de acuerdo a las fibras que manejan o a su actividad, en:

- a) algodón
- b) lana y estambre
- c) rayón, fibras sintéticas y otras
- d) teñido y acabado
- e) tejido.

Estas fábricas pueden estar especializadas o integradas en sus procesos.

Vapor para proceso.- Las fábricas de hilaza tejida, sin teñido, emplean algo de vapor para el peinado y estregadura de la lana. Las plantas donde se teje el estambre que hacen su propio acabado y todas las fábricas de lana, emplean grandes cantidades de vapor para proceso y agua caliente en el trabajo de acabado. También lo emplean algunas fábricas de tejido que hacen su propio teñido y acabado.

Las plantas de acabados de algodón emplean grandes cantidades de vapor para proceso y agua caliente.

Electricidad.- En general, las fábricas que usan vapor para calefacción y proceso en pocas cantidades pueden comprar electricidad más barata que la que ellos pueden generar, mientras que en las fábricas que cuentan con departamentos de acabado y teñido, los cuales emplean grandes cantidades de vapor de baja -

presión, las condiciones más bien se invierten. En este caso - la fábrica puede emplear una turbina de contrapresión o extracción controlada para producir electricidad y vapor de proceso

Diagnóstico de la Cogeneración

Se encuentran registrados tres establecimientos con instalaciones para autoabastecimiento de electricidad con turbinas de vapor; considerando el proceso y el tipo de generador, puede suponerse que estos emplean esquemas de cogeneración

La capacidad instalada total fue de 11 450 Kw, en 1984; la generación eléctrica correspondiente fué de 39 Gwh; y fueron comprados 60 Gwh en contratos de la tarifa 12

El factor de planta para el conjunto resultó del 39%

Conclusión

Puede decirse que, si bien su participación es marginal en el contexto cogenerativo, la industria textil no debe excluirse de los análisis sobre las posibilidades de ahorro y uso eficiente de energía.

Referencias y Fuentes de Información

Standard Handbook for Electrical Engineers. Donald G. Fink y John M. Carol. 10th Edition. McGraw-Hill Book Co.

Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de - Electricidad. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal

Relación de Usuarios de la Tarifa 12.- Departamento de Consumidores. Comisión Federal de Electricidad.

Planta Eléctrica del Grupo Industrial

De acuerdo a la ley decretada en 1976 en materia de electricidad que establece la posibilidad de otorgar permisos para satisfacer las necesidades propias de las empresas individualmente consideradas, esta planta se ve ahora como un caso particular, debido a que el permiso se concedió con anterioridad a -- esa fecha.

Actualmente pertenece a 26 copropietarios de ramas industriales tales como: cemento, siderúrgica, cerveza, papel vidrio y otras.

Sistema Energético

Los combustibles primarios de esta central son el gas natural y el combustóleo; la electricidad producida se distribuye proporcionalmente entre los copropietarios, de acuerdo a su participación de capital; también se vende vapor para proceso entre los socios.

Aspectos Eléctricos

La central PEGI está integrada por 10 unidades de turbogeneradores eléctricos y una turbina de gas (26 000 Kw), acumulando en conjunto 177 300 Kw.

La generación reportada para 1984 fue de 926.9 Gwh, resultando un factor de planta de 59.7%

Diagnóstico de la Cogeneración

Aunque no fue posible consultar información sobre los esquemas de instalación de los equipos de esta central, se desprende de los párrafos anteriores, que indican el tipo de empresa y la distribución de electricidad y venta de vapor, que esta central opera en un sistema topping

Conclusión

De acuerdo a los conceptos asentados en este apartado, a PEGI - le corresponde la posición del desarrollo máximo de la cogeneración lograda en México, en términos de los distintos aspectos - logrados en el ámbito internacional.

Debe, entonces, tomarse como marco de referencia en todos los - estudios sobre cogeneración industrial.

Referencias y Fuentes de Información

Padrón de Permisarios de Autoabastecimiento de Electricidad.- Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.