01178
2
2ej

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIAGNOSTICOS ENERGETICOS EN UNA PLANTA DE CELULOSA Y PAPEL

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION 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

(ENERGETICA)

PRESENTA:

JOSE MARIN MARIN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIUDAD UNIVERSITARIA 1991

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCION.....1

I.1. IMPORTANCIA TECNICA Y ECONOMICA DE LA ENERGIA.....1

I.2. PANORAMA NACIONAL DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA...2
I.2.1. Panorama Nacional.....2
I.2.2. El mercado interno de energía.....4

I.3. SITUACION INTERNACIONAL DE LA ENERGIA.....10

I.4. LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.....15
I.4.1. Situación Nacional.....15
I.4.2. La industria papelera en el mundo.....21

CAPITULO II. PROCESOS INDUSTRIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL.....25

II.1. INTRODUCCION. 25
II.1.1. Breve historia de la celulosa y el papel. 25
II.1.2. Fuentes de fibras celulósicas. 26
II.1.3. Papeles regenerados. 27

II.2. PRINCIPALES PROCESOS EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE LA CELULOSA.....27
II.2.1. Celulosa química.....30
II.2.2. Elaboración de celulosa mecánica.....38
II.2.3. Proceso químico-termo-mecánico.....38
II.2.4. Otros procesos.....40

II.3. PROCESO GENERAL PARA FABRICAR PAPEL.....40
II.3.1. Preparación de pastas.....42
II.3.2. Reelaboración de pulpa o repulpeo.....42
II.3.3. Refinación.....43
II.3.4. Formación del papel.....43
II.3.5. Calandreado o laminado.....45
II.3.6. Marcas de agua.....46
II.3.7. Engomado, pesaje y coloreado.....46
II.3.8. Recubrimientos.....46
II.3.9. Propiedades de la hoja de papel.....47
II.3.10. Cartones.....47
II.3.11. Análisis químico del papel.....48

II.4. CONSUMO DE ENERGIA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE CELULOSA Y PAPEL.....49
II.4.1. Consumo específico de energía en la elaboración de la celulosa y del papel en los países desarrollados.....49

II.4.2. Consumo de energía general en la industria de la celulosa y del papel en México.....51
II.4.3. Perspectivas del consumo de energía en la industria de la celulosa y del papel.....64

CAPITULO III. ADMINISTRACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA.....73

III.1. INTRODUCCION.....73
III.1.1. Necesidad de la Administración de la Energía. 73

III.2. AUDITORIA ENERGETICA.....74
III.2.1. Conceptos fundamentales.....74
III.2.2. Tipos de auditoría energética.....75

III.3. PREPARACION Y PASOS PRELIMINARES DE UNA AUDITORIA ENERGETICA.....79

III.4. ETAPAS DE UNA AUDITORIA ENERGETICA.....87
III.4.1. Primera etapa.....88
III.4.2. Segunda etapa.....92

III.5. CONTABILIDAD ENERGETICA.....95
III.5.1. Realización de balances de energía.....95
III.5.2. Ejemplos de balances energéticos en la ICP.....99
III.5.3. Administración de energía en una planta de productos San Cristóbal.....106

CAPITULO IV. MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA....113

IV.1. MEDIDAS PARA EL USO EFICIENTE Y EL AHORRO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL.....113
IV.1.1. Antecedentes.....113
IV.1.2. Posibilidades y medidas para el ahorro de energía en la industria de la celulosa y el papel.....117

IV.2. MEDIDAS INDIRECTAS DE AHORRO DE ENERGIA PARA LA ICP....125

IV.3. MEDIDAS DE AHORRO ESPECIFICAS PARA LAS PLANTAS DE CELULOSA Y PAPEL.....126
IV.3.1. Medidas para el ahorro de energía en el uso del vapor.....126
IV.3.2. Medidas para el uso eficiente de la energía eléctrica.....135
IV.3.3. Medidas para lograr el uso eficiente de la energía térmica.....138
IV.3.4. La cogeneración de electricidad en la ICP.....150

IV.4. MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA EN LA PLANTA DE SAN JUAN DEL RIO, QRO., DE PRODUCTOS SAN CRISTOBAL.....160

CAPITULO V. INSTRUMENTACION DE UN PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (ICP).....165

V.1. ORGANIZACION DEL COMITE DE ADMINISTRACION DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE LA ICP.....165
V.1.1. Funciones y atribuciones del gerente de energía.....167
V.1.2. Rentabilidad del funcionamiento de un comité de administración energética.....171

V.2. PUNTOS PARA LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS DE LA ICP.....171
V.2.1. Lineamientos metodológicos para elaborar el programa de ahorro de energía.....171
V.2.2. Características principales de un programa de ahorro de energía.....174
V.2.3. Objetivos del programa.....176
V.2.4. Subprogramas de concientización del personal.....177
V.2.5. Mantenimiento y mejoras del modo de operación.....179
V.2.6. Análisis de las mejoras que requieren una inversión considerable.....184

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....191

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....199

ACRONIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES.....202

CAPITULO I

INTRODUCCION

La verdad es lo desconocido
de instante en instante....
SAMAEL AUN WEOR

CAPITULO I. INTRODUCCION.

I.1. IMPORTANCIA TECNICA Y ECONOMICA DE LA ENERGIA.

La energía o sus fuentes que son los energéticos, son de vital importancia para el desarrollo industrial y por lo tanto económico y social de un país. Sin energía una nación no se mueve. Sin embargo, la mayoría de los energéticos empleados hoy en día son recursos no renovables, como el petróleo, el carbón, el uranio y el agua misma, que no puede aumentarse, pero sí disminuye su disponibilidad. Ante tal situación, y debido a los precios y costos de producción de los energéticos, principalmente el petróleo y los hidrocarburos en general, muchos países no tienen suficientes recursos económicos para tener acceso a los hidrocarburos en particular y a los energéticos en general, que les permitan poseerlos en cantidades suficientes para atender la demanda que exige su industrialización y desarrollo económico.

La crísis de hidrocarburos caros de los años 1973 y 1979 ha vuelto a presentarse en la actualidad, debido principalmente al problema bélico del golfo Pérsico, concretamente por la situación de bloqueo del petróleo irakí y kuwaití; propiciada por Estados Unidos y los países industrializados, como reacción a la invasión de Irak a Kuwait. Esta situación ha provocado inestabilidad en el mercado de hidrocarburos y ocasionado fuertes erogaciones extras a los países importadores.

La energía puede servir como impulsor al desarrollo, pero también puede frenarlo si se le da un uso dispendioso e ineficiente, como ocurre por desgracia en México. Para que la energía sirva efectivamente a aquel fin, es imperativo tanto producirla en cantidad y calidad suficientes, como darle una utilización apropiada. Además, también la protección ambiental es tarea básica en la actividad diaria, es decir producción y consumo del sector energético.

Por todo lo anterior, es necesario que los países, tanto productores como no productores de hidrocarburos, instrumenten y lleven a efecto políticas serias de ahorro y uso eficiente de la energía. El gobierno de nuestro país está planteando un programa en ese sentido, que por primera vez parece ser serio y que tendrá frutos positivos. Este trabajo pretende contribuir, aunque sea modestamente, a la puesta en práctica de la metodología de las llamadas auditorías energéticas con el objeto de desarrollar programas de ahorro y uso eficiente de la energía en las industrias que la consumen en forma intensiva, como es el caso de la industria de la celulosa y el papel.

Aunque la energía se conserva, cuando se emplea cierto tipo de energía, por ejemplo, la eléctrica o la calorífica para

realizar un trabajo, se dice que la energía se consume; lo que pasa en realidad es que una parte de la energía se convierte en trabajo y la otra se degrada de tal manera que ya no puede ser utilizada para algo útil y sólo sirve para aumentar la entropía del planeta.

Sin embargo, la importancia de la energía no rádica sólo en eso, sino que en la actualidad las sociedades o países que pretenden desarrollarse economicamente deben de disponer de cantidades cada vez mayores de energía o, en última instancia, de recursos energéticos; de lo contrario no podrían desarrollar sus industrias y otras actividades. Actualmente, un país sin energía estaría virtualmente paralizado en sus actividades industriales, de comunicaciones, de transporte, etc...

Pero como la mayor parte de la energía que se consume en la actualidad proviene de energéticos no renovables, como los hidrocarburos, es necesario cuidar tales energéticos y hacerlos rendir al máximo. Para lograr lo anterior, sin duda uno de los mejores pasos es llevar a cabo programas de uso eficiente y ahorro de energía.

I.2. PANORAMA NACIONAL DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA.

I.2.1. Panorama Nacional.

México es un gran productor y exportador de hidrocarburos; ocupa el cuarto lugar mundial por sus reservas probadas, que eran de 67,600 millones de barriles en 1988 y de aproximadamente 66,000 millones en 1989; las reservas potenciales son de alrededor de 250,000 millones de barriles. Ocupa, asimismo, el tercer lugar en yacimientos gigantes y el quinto como productor de gas; en 1990 produjo 3,651.5 millones de pies^3 de gas diarios[Ref.1]. Desde ese punto de vista, México es un país privilegiado, pues produce más energía de la que consume y exporta los excedentes, que en los últimos años han sido un promedio de 1.4 millones de barriles diarios. Es conveniente aclarar que las reservas probadas, practicamente no han sido aumentadas desde 1982, debido, entre otras causas, a la falta de exploración, por lo que en la práctica, éstas han disminuído; sin embargo, a raíz de la actual crísis petrolera originada por el conflicto del Pérsico, PEMEX anunció en octubre de 1990 que aumentaría sus exportaciones de crudo, sin especificar el monto y ya reinició sus actividades exploratorias. El aumento de las exportaciones puede traer consecuencias negativas sobre las reservas petroleras del país.

La evolución del sector energético en México [Ref.2], en general, ha sido positiva, y su importancia y carácter estratégico en la economía nacional es obvio, por las siguientes razones:

+El sector aporta el 4.2 % del PIB (1988) y emplea de manera directa a más de 300,000 personas.

+Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento y expansión del aparato productivo y para la elevación del bienestar social, como demandante de bienes y servicios, y a través de sus encadenamientos hacia adelante, impulsa el desarrollo de múltiples industrias.

+La inversión realizada del sector, respecto del total del sector público fue del 34.6% en 1988, sin embargo bajó respecto a 1982 en que fue del 40.6% del total.

+Entre 1983 y 1988, sus aportaciones fiscales sumaron alrededor de 180 billones de pesos, a precios de 1980, que significa una participación promedio de 43% en los ingresos de la Federación. Para 1988, dicha participación fue de 35%.

+En 1988, participó con 32.5% de las exportaciones totales del país (77% en 1982); entre 1983 y 1988, el sector aportó cerca de 70 mil millones de dólares, por concepto de exportaciones petroleras.

El crecimiento de los cambios experimentados por el sector energético en los últimos 25 años, particularmente 1976 y 1982, en algunos casos llegó a superar la observada por la economía nacional en su conjunto. En el último cuarto de siglo la producción de energía primaria se multiplicó por cinco y el consumo nacional por 3.5 veces.

En materia de hidrocarburos, las reservas probadas [Ref.2] pasaron de 5,078 millones de barriles en 1965 a 67,600 para finales de 1988, en 1990 se calcula que son de 65,500. Estas reservas están integradas de la siguiente manera: 69% de crudos, 21% de gas seco y 10% de líquidos recuperables del gas.

La producción de petróleo, por su parte, aumentó en el mismo lapso de 323 MBD (miles de barriles diarios) a 2.5 MMBD (millones de barriles diarios), y al cierre del mismo año (1988), la capacidad nominal de refinación superó los 1.5 MMBD en destilación primaria y la capacidad de procesamiento de líquidos de gas se ubicó en 440 MBD, niveles que en total exceden en más de cuatro veces la capacidad que existía en 1965.

Respecto a la energía eléctrica, en el mismo período, la capacidad instalada se incrementó en 500%; la generación lo hizo en 593% y se amplió la cobertura del servicio eléctrico a 11.5 millones más de usuarios.

El sector respondió a las exigencias de la economía y mantuvo el abasto necesario de energía, crecientes aportaciones fiscales e importantes flujos de divisas. Pero debido a la crísis tanto interna como externa, principalmente a la baja en los precios del crudo, en 1986 la pérdida de ingresos por venta de hidrocarburos fue equivalente al 6% del PIB.

Las dificultades en materia financiera influyeron negativamente en la operación y en las inversiones del sector. La inversión del sector disminuyó significativamente, pues en 1981, en términos reales significó el 23.5% de la inversión total en el sector energético del país en el caso de PEMEX y 41.8% en la rama eléctrica. Ante tales rezagos, se perdió el márgen de maniobra y los espacios de seguridad. Los excedentes en materia de oferta ya no son razonables, lo que constituye una restricción, que de no corregirse, podría convertirse en freno del crecimiento económico sostenido. El márgen de reserva en electricidad actualmente es adecuado, pero tiende a estrecharse y en dos años podría llegar al desequilibrio entre la oferta y la demanda. El acelerado crecimiento de la demanda eléctrica implicaría que, de no modificarse los esquemas actuales, para el año 2000 se requerirá tener el doble de la capacidad instalada en 1990, es decir, construir en 10 años todo lo realizado en lo que va del siglo.

En cuanto a los hidrocarburos, la producción de crudo empieza a declinar seriamente; la capacidad de refinación está saturada, e inclusive ya se importan gasolinas, diesel y gas por la frontera norte del país. El paro de la refinería de Atzcapotzalco en la Ciudad de México, por problemas ambientales, límita aún más la capacidad de refinación.

Por otro lado, la falta de integración de los procesos secundarios limita la producción de derivados y el mejoramiento de su calidad; además, existen problemas de almacenamiento y transporte de crudo y petrolíferos.

En general, y debido a la crísis económica sólo se ha resuelto la problemática inmediata, descuidándose peligrosamente la planeación del sector energético a mediano y largo plazos.

I.2.2. El Mercado Interno de Energía.

La demanda de energía en México es muy alta con respecto al crecimiento de la economía en general, pues entre 1970 y 1982, el crecimiento de aquélla fue de 8% en promedio, pero a partir de 1983 la tendencia se revierte, de tal modo que en 1988 el consumo es apenas superior en 1.9% del que se dió en 1982.

Sin embargo, la demanda de hidrocarburos refinados y de electricidad no creció igual, pues los primeros aumentaron en 1.7% en promedio durante 1983-1988 y la electricidad lo hizo en un 4.9% en el mismo lapso. Esta desigualdad se debió principalmente a la disminución del crecimiento económico y a los incrementos en las tarifas de los productos refinados. La mayor parte de la oferta energética ha corrido a cargo de los hidrocarburos y es altamente dependiente de ellos, pues en 1982 era de 92% y en 1988 de 90%.

Consumo de energía por sectores en el período de 1985 a 1989.

El Cuadro I.1. constituye un resumen del consumo total de energía por sectores en México, durante los años de 1985 a 1989, de acuerdo a los datos de los balances nacionales de energía.[Ref.3]

De esos datos se pueden hacer las observaciones siguientes:

a) Que en general, el consumo de energía en el país, ha sido creciente, pero que en el año de 1986 tuvo un decremento del 3.3% respecto al consumo de 1985. Que en 1985 el crecimiento con respecto a 1984 fue apenas del 1%, esto se debió en gran parte a los efectos negativos que tuvo la crisis económica del país en esos años.

b) También se puede observar que el mayor consumo de energía fue para usos energéticos, un promedio del 87.46%, mientras que el consumo no energético sólo fue de 12.54% en promedio.

c) Otro dato que salta a la vista es el gran consumo de energía en el sector transporte, que fue del 31.44% en promedio y que casi es igual al del sector industrial que fue del 32.54%, el más alto de todos los sectores. Estas cifras hacen pensar que en México, el sector transporte consume comparativamente con los otros sectores mucha energía; lo cual puede deberse a que la usa en forma muy ineficiente, ocasionando así mucho desperdicio. Por lo tanto el sector transporte ofrece teoricamente grandes oportunidades para el ahorro de energía.

d) El consumo conjunto de los subsectores residencial, comercial y público también es importante, pues representó en promedio el 22.7% de la energía total consumida en el período que nos ocupa. En este sector conviene recalcar la gran participación de la leña como energético para el subsector residencial, pues en 1989 aportó el 43.2% de toda la energía consumida por ese subsector que,a su vez, representó el 89.6% del sector.

e) El sector que consume menos energía es el agropecuario, el cual tuvo un promedio de consumo del 2.78% del total. Esto es consecuencia de lo poco mecanizada que está la agricultura en el país y del abandono general en que se encuentra el sector.

f) Otra cuestión que también debe hacerse notar, es la constancia o persistencia de los porcentajes en el consumo de energía que tienen todos los sectores, lo cual puede ser signo de que ni el sector agropecuario que es el más deprimido se mejora; ni el sector industrial, que es el que más energía consume, da el salto que tanto requiere el país para salir del subdesarrollo e industrializarse.

CUADRO I.1.
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR SECTORES EN MEXICO, 1985-1989.

CONSUMO POR SECTORES (KCAL X10^{12} Y %)					
SECTOR	**AÑOS**				
	1985	1986	1987	1988	1989
Consumo no energético	99.785 11.8%	101.153 12.3%	105.968 12.3%	114.875 13.3%	119.814 13.0%
Petroquímica básica	73.683 8.7	78.795 9.6	82.810 9.6	88.789 10.3	95.574 10.4
Otras ramas	26.102 3.1	22.458 2.7	23.158 2.7	26.086 3.0	23.439 2.6
Consumo energético	749.407 88.2	720.196 87.7	753.626 87.7	746.320 86.7	798.801 87.0
Residencial comercial y público	172.198 20.3	173.503 21.1	178.602 20.8	181.649 21.1	185.827 20.2
Transporte	261.551 30.8	259.912 31.7	266.395 31.0	269.565 31.3	297.554 32.4
Agropecuario	23.003 2.7	22.837 2.8	24.460 2.8	25.554 3.0	23.864 2.6
Industria y minería	292.655 34.4	263.944 32.1	284.169 33.1	269.552 31.3	291.556 31.8
TOTAL	849.192 100.0%	821.499 100.0%	859.594 100.0%	861.195 100.0%	917.814 100.0%
Variación % de un año a otro	1985/1984 1.0%	1986/1985 -3.3%	1987/1986 4.7%	1988/1987 0.2%	1989/1988 6.7%

FUENTE: BALANCES NACIONALES DE ENERGIA, SEMIP, 1985-1989.

Queda claro que el sector más dinámico, según su consumo de energía, es el industrial. Pues bien, en el cuadro I.2. se puede observar el consumo de las principales ramas industriales y su participación porcentual en el consumo total de energía en el sector industrial. Se puede apreciar que las industrias que tuvieron la mayor variación porcentual en el consumo de energía, durante el período de 1985 a 1989, fueron la del aluminio con 44.9%, la de fertilizantes con 36.1%, la siderúrgica con 30.6% y la petroquímica con 27.8%. Por lo tanto se puede pensar que esas ramas industriales fueron las que más crecieron en el período estudiado.

Sin embargo para corroborar tal suposición, necesitamos conocer la eficiencia que tuvieron en el uso de la energía, porque pudiera ser que una buena parte del aumento en el consumo de energía se deba al uso ineficiente de la misma, y no precisamente al crecimiento proporcional de la rama industrial en cuestión.

Por lo que se refiere particularmente a la industria de la celulosa y el papel (ICP), se ve que su consumo de energía en 1989 fue apenas 8% más alto que el de 1985, lo cual evidencia que lo mantuvo casi constante. Eso puede deberse a que la ICP sólo instaló 3 plantas nuevas entre 1985 y 1989. Pero el poco aumento en el consumo de energía también puede deberse al hecho de que el sector se ha ido modernizando con equipos y procesos de menor consumo de energía, y a la constitución económica de la rama.

Por otro lado, la participación de la ICP en el consumo total de energía en el sector industrial es relativamente alta y se compara con la del subsector minero. El consumo de energía de la ICP con respecto al sector industrial, se mantuvo casi constante durante el período de 1985 a 1989 y fue del 4.16% en promedio. En términos absolutos la ICP consumió en promedio 11.676 billones de kilocalorías anuales durante el período que nos ocupa.

Los intentos de diversificación de fuentes de energía se han hecho principalmente en la electricidad; entre 1983 y 1988, la capacidad instalada se incrementó en 5,564 MW, de los cuales el 46.6% era de centrales que no consumen hidrocarburos. Pero en el total instalado todavía prevalece la dependencia de este recurso no renovable e incluso en el período que se menciona aumentó de 65.5 a 67.2%.

Por lo que se refiere al apoyo científico y técnico, el país cuenta con tres magníficos institutos, como son el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y el Inst. de Investigaciones Eléctricas (IIE); no obstante, la falta de recursos económicos y la rotación constante de su personal, no les han permitido desarrollar más su capacidad y rendimiento en los últimos años.

CUADRO I.2.
CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE MEXICO, 1985-1989.

SECTORES INDUSTRIALES	CONSUMOS (BILLONES DE KILOCALORIAS) (Año, cantidad y % de participac.)					VARIACION %
	1985	1986	1987	1988	1989	1989/1985
ALUMINIO	1.04 3.5%	0.91 0.3	1.14 0.4	1.43 0.4	1.5 0.5	44.9
AZUCAR	26.61 9.1	28.63 10.8	30.03 10.6	29.57 11.0	25.8 8.8	-0.03
CELULOSA Y PAPEL	11.57 3.9	11.33 4.3	11.74 4.1	11.24 4.2	12.48 4.3	8.0
CEMENTO	25.55 8.7	23.17 8.8	23.79 8.4	25.37 9.4	27.2 9.3	6.5
FERTILI-ZANTES	2.72 0.93	2.62 1.0	2.97 1.0	3.12 1.2	3.7 1.3	36.1
HULE	1.04 0.35	1.01 0.4	0.97 0.3	1.14 0.4	1.1 0.4	6.0
PETROQUI-MICA BAS.	45.93 15.6	47.95 18.2	48.94 17.2	51.50 19.1	58.7 20.1	27.8
SIDERURGIA	46.72 15.9	41.12 15.6	45.12 15.9	51.63 19.2	61.0 20.8	30.6
VIDRIO	7.36 2.5	7.90 3.0	9.04 3.2	7.32 2.7	7.5 2.6	1.9
INDUSTRIA QUIMICA	29.24 10.0	28.85 10.9	28.35 10.0	28.84 10.7	32.0 11.0	9.4
MINERIA	n.d. n.d.	n.d. n.d.	10.7 3.8	10.59 3.9	12.7 4.4	18.7*1

CUADRO I.2.
CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE MEXICO, 1985-1989.

SECTORES INDUSTRIALES	CONSUMOS (BILLONES DE KILOCALORIAS) (Año, cantidad y % de participac.)					VARIACION %
	1985	1986	1987	1988	1989	1989/1985
ALUMINIO	1.04 3.5%	0.91 0.3	1.14 0.4	1.43 0.4	1.5 0.5	44.9
AZUCAR	26.61 9.1	28.63 10.8	30.03 10.6	29.57 11.0	25.8 8.8	-0.03
CELULOSA Y PAPEL	11.57 3.9	11.33 4.3	11.74 4.1	11.24 4.2	12.48 4.3	8.0
CEMENTO	25.55 8.7	23.17 8.8	23.79 8.4	25.37 9.4	27.2 9.3	6.5
FERTILI-ZANTES	2.72 0.93	2.62 1.0	2.97 1.0	3.12 1.2	3.7 1.3	36.1
HULE	1.04 0.35	1.01 0.4	0.97 0.3	1.14 0.4	1.1 0.4	6.0
PETROQUI-MICA BAS.	45.93 15.6	47.95 18.2	48.94 17.2	51.50 19.1	58.7 20.1	27.8
SIDERURGIA	46.72 15.9	41.12 15.6	45.12 15.9	51.63 19.2	61.0 20.8	30.6
VIDRIO	7.36 2.5	7.90 3.0	9.04 3.2	7.32 2.7	7.5 2.6	1.9
INDUSTRIA QUIMICA	29.24 10.0	28.85 10.9	28.35 10.0	28.84 10.7	32.0 11.0	9.4
MINERIA	n.d. n.d.	n.d. n.d.	10.7 3.8	10.59 3.9	12.7 4.4	18.7*1

CUADRO I.2. (CONT.)
CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE MEXICO, 1985-1989.

SECTORES INDUSTRIALES	CONSUMOS (BILLONES DE KILOCALORIAS) (Año, cantidad y % de participac.)					VARIACION %
	1985	1986	1987	1988	1989	1989/1985
AUTOMOTRIZ	n.d. n.d.	2.07 n.d.	2.22 0.8	0.91 0.3	1.3 0.4	-37.1*2
CONSTRUC-CION	n.d.	n.d.	0.72 0.2	1.16 0.4	0.6 0.2	-16.7*3
SUBTOTAL	197.76 67.6	193.46 73.3	215.71 75.9	223.79 83.0	245.2 81.1	24.0
OTRAS RA-MAS IND.	94.89 32.4	70.49 26,7	68.46 24.1	45.77 17.0	46.4 18.9	-51.1
TOTAL	292.66 100.0%	263.94 100.0	284.17 100.0	269.55 100.0	291.6 100.0	-0.36

*1 = 1989/1986.
*2= *3 = 1989/1987.

FUENTE: Balances nacionales de energía de 1985 a 1989.
NOTA: Los datos se redondearon a dos décimales.

I.3. SITUACION INTERNACIONAL DE LA ENERGIA.

A nivel internacional, la energía empezó a obtenerse principalmente del carbón en el siglo pasado. En 1860, practicamente toda la energía comercial consumida procedía del carbón, y ya en 1880 el 2.3% era del petróleo, pero sin intervenir ni el gas ni la hidroelectricidad. En 1900, el 94.9% de la energía se obtenía del carbón, el 4.1% del petróleo y el 1% del gas, pero nada de hidroelectricidad u otras fuentes. Es hasta 1920 que del carbón procede 83.2%; del petróleo, el 10.9%; del gas natural un 2.1% y de la hidroelectricidad (que se registra por primera vez), el 3.8%.

En general, de 1860 a 1985 se observa como la participación del carbón va disminuyendo en porcentaje, mientras que la del petróleo va aumentando, incluyendo el crudo y el gas, pero no tan sólo eso, sino que a partir de 1920, la participación de otras fuentes, como la hidroeléctrica se hace mayor. De tal manera, que en 1970 la participación de los hidrocarburos alcanzaba un máximo que llegaba al 64.7% del total mundial (41.3% de petróleo y 21.4% de gas) y el carbón se había reducido a sólo el 26.8%, menos de la tercera parte del total. Las otras fuentes como la hidroeléctrica, la nuclear y las renovables ya habían ascendido a 8.5 %. Estos datos se mantienen más o menos estables hasta 1985, año en el que la participación del carbón permanece igual, la de los hidrocarburos baja a 53.9% y, en cambio, las otras fuentes suben hasta un 19.2%.

De 1985 hasta 2060 se hacen proyecciones de participación de energéticos en el consumo global de energía y se llega a la conclusión que el carbón repuntará lentamente de 26.9% a 33.8%, y los hidrocarburos declinarán sensiblemente en su participación, de 53.9% a 29.5%; en tanto que las otras fuentes, incluídas las alternas o nuevas como la solar, habrán alcanzado la impresionante cifra del 38.7%. Por lo que se refiere a la participación del gas, se prevé que se mantenga casi constante al nivel que tenía en 1985. Todo esto puede observarse en el Cuadro I.3.

Por otra parte, en el Cuadro I.4. se presenta la producción mundial de petróleo, por bloques de países, clasificados en: Organización de Países Exportadores de Petróleo(OPEP), Agencia Internacional de Energía (AIE), países socialistas y otros. Se observa, en primer lugar, que la producción mundial total de petróleo en 1987 y desde 1982 fue menor que en 1973. En este año fue de 58.107 MMBD y en 1987 de 55.720 MMBD. No obstante, entre 1973 y 1980 la producción fue creciente; ¿a qué se debieron estas oscilaciones un tanto ilógicas? En primer lugar, con el auge en los precios del crudo, que se produjo en 1973-74 a raíz de la crísis del Oriente Medio, muchos países que antes no producían petróleo, lo empezaron a hacer y a exportarlo, con lo que se incrementó la producción en general.

CUADRO I.3.
EVOLUCION DE LA PROVISION MUNDIAL DE ENERGIA 1860-2060 (%).

AÑO	TOTAL	CARBON LIGNITO	PETROLEO	GAS NATURAL	HIDROELECTRICIDAD NUCLEAR, RENOVAB.
1860	100	100.0	0.0	0.0	0.0
1880	100	97.7	2.3	0.0	0.0
1900	100	94.9	4.1	1.0	0.0
1920	100	83.2	18.9	2.1	3.8
1940	100	67.2	21.5	5.3	6.0
1960	100	47.1	34.5	12.0	6.4
1970	100	26.8	43.3	21.4	8.5
1980	100	24.0	41.3	17.4	17.3
1985	100	26.9	36.0	17.9	19.2
2000	100	26.1	30.6	17.1	26.2
2020	100	30.5	21.0	17.2	31.3
2040	100	32.2	16.1	16.7	35.0
2060	100	33.8	11.1	18.4	38.7

Fuente: "Metodología para el diagnóstico energético en una planta productor de cemento". Tesis de J.G. Alfonso Ramos Anastacio.[Ref.27]

CUADRO I.4.
PRODUCCION MUNDIAL DE PETROLEO SEGUN BLOQUES DE PAISES, 1973-1987.

AÑO	TOTAL MUNDIAL		OPEP		AIE		SOCIALISTAS		OTROS	
	MMBD	%	MMBD	%	MMBD	%	MMBD	%	MMBD	%
1973	58.107	100	31.003	53	13.925	24	10.141	17	3.030	5
1974	58.205	100	30.729	53	13.484	23	11.003	19	2.989	5
1975	55.299	100	27.193	48	12.536	23	11.831	21	3.739	7
1976	59.765	100	30.738	51	12.413	21	12.611	21	4.003	7
1977	61.925	100	31.252	50	13.098	21	13.188	21	4.386	7
1978	62.449	100	29.807	48	14.871	24	13.888	22	3.883	6
1979	65.060	100	30.929	48	14.478	22	14.281	22	5.372	8
1980	62.039	100	26.878	43	14.543	23	14.603	24	6.015	10
1981	58.388	100	22.541	39	14.562	25	14.641	25	6.644	11
1982	55.335	100	18.492	33	14.755	27	14.744	27	7.344	13
1983	54.613	100	17.759	33	15.255	28	14.988	27	6.611	12
1984	56.124	100	17.964	28	15.964	28	14.867	26	7.987	14
1985	53.484	100	16.014	30	14.670	27	14.840	28	7.960	15
1986	55.880	100	17.958	32	14.666	26	15.317	27	7.939	14
1987	55.720	100	15.060	27	-	-	-	-	-	-

FUENTE: Idem.

Por otra parte, los países altamente industrializados, como los Estados Unidos, Japón y en general los de Europa Occidental, resintieron los altos costos y el bloqueo petrolero de esos años, por lo que se dieron a la tarea de desarrollar y poner en práctica rigurosos programas de ahorro y uso eficiente de la energía. Estos programas empezaron a dar sus frutos unos 4 años después, precisamente al inicio de los ochentas, dando como resultado un menor consumo de energía, en particular de petróleo.

A su vez, los países productores y exportadores, sobre todo los de la OPEP, tuvieron que ponerse de acuerdo y bajar su producción con objeto de recuperar los precios del crudo, que después de la crísis del 73-74 y del 79-80 en que llegaron a más de 40 dólares por barril, se desplomaron hasta menos de 10 dólares en 1986; debido, entre otras cosas a la sobreoferta que existía en el mercado internacional.

Esa sobreoferta se debió a la entrada en escena del petróleo de los campos del Mar del Norte, de Egipto, etcétera, que abarataron el energético para los países de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE), fundamentalmente, pero también a la sobreproducción de los propios miembros de la OPEP, principalmente algunos países árabes. Prueba de ello son los porcentajes de producción de la OPEP en la década de los setentas, pues en promedio fue ligeramente mayor al 50% de la producción mundial. Es hasta 1980 cuando empieza a descender la participación relativa y absoluta de la OPEP en la producción del petróleo, al grado de que en 1987 se consideraba del 27% y en 1988 se estima en 33%.

Por otro lado, tanto los países de la AIE, como los socialistas mantienen relativamente estable su producción en los setentas y la aumentan ligeramente en los ochentas. Los primeros mantuvieron un promedio del 22.57% en los 70 y de 26.28% en los 80; los países socialistas en cambio tuvieron una participación promedio durante los años setenta del 20.43% y en los 80 del 22.42%,o sea apenas un aumento del 2% en 10 años.

El grupo de países que definitivamente incrementó casi al doble, de un 6.42% en los setentas a un 12.71 en los ochentas, fue el que llamamos "otros", en esos países se encuentran aquéllos que antes de 1973 no producían petróleo por su incosteabilidad y después de ese año se convirtieron en productores y se sostuvieron en ascenso hasta la fecha.

En general, los países importadores de petróleo aprovecharon las oportunidades que ofreció el creciente exceso de la oferta para diversificar sus fuentes de abastecimiento. Esta situación no pudo ser llevada a cabo en los países en vías de desarrollo, los cuales siguen y seguirán dependiendo, por un largo tiempo, del petróleo como energético fundamental para abastecerse de energía.

Prueba de la diversificación de fuentes lo fue el consumo de energía de la Comunidad Económica Eureopea (CEE), quien consumió en 1986 más de 1,000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), bajo la siguiente distribución porcentual: 44 de petróleo, 22 de carbón, 19 de gas natural, 13 de energía nuclear y 2 de energía hidroeléctrica. Estos países de la CEE, en 12 años han logrado producir lo mismo, utilizando casi 25% menos de energía. Para lograr este ahorro la Comunidad invirtió entre 1978 y 1986 cerca de 150 millones de ECUS (aproximadamente 1.5 por dólar), al apoyo de más de 300 proyectos dedicados al ahorro de energía.

Dos de los países que más se han destacado en desarrollar proyectos de ahorro y diversificación de fuentes de energía son Japón y Estados Unidos. Este último redujo 25% su consumo de energía entre 1974 y 1986; Japón lo hizo en 31% en el mismo período.

El crecimiento mundial del consumo de petróleo se hizo con un ritmo de 1.5 MMBD entre 1986 y 1988, y llegó en ese año a 50.8 MMBD. Los países en desarrollo del sudeste asiático alcanzaron niveles de consumo sin precedente.

La producción petrolera de los países no miembros de la OPEP ha aumentado de manera significativa, ha llegado hasta niveles cercanos a los 22 MMBD, frente a un mínimo de 16 MMBD en 1986. Con ello su paricipación en la producción mundial excede el 40 %, comparada con el 35% que tenía en 1985.

Persiste el desequilibrio en el mercado petrolero, el exceso de oferta se ubica entre 7 y 8 MMBD. La estabilidad del mercado depende basicamente de la capacidad de los países productores y exportadores para regular la producción.

La experiencia del último decenio muestra que los precios internacionales del petróleo responden a elementos de naturaleza muy variada. A corto plazo, factores coyunturales, como la guerra del Pérsico, del propio mercado petrolero, junto con expectativas de los participantes y decisiones políticas, determinan en buena medida su comportamiento. A largo plazo, las fuerzas subyacentes de la oferta y la demanda de petróleo establecen los niveles de equilibrio de los precios de este recurso.

Antes de la invasión de Irak a Kuwait, no se esperaba que los precios aumentaran significativamente, pues había un gran exceso de capacidad de producción, la que aún persite; sin embargo, con la situación de inestabilidad política y estado bélico en la región del Golfo Pérsico, el petróleo elevó sus precios hasta alcanzar el record de 40 dólares por barril, en Noviembre de 1990, sin embargo esta situación no se mantuvo por mucho tiempo, a pesar de la guerra contra Irak.

Se prevé que la demanda de petróleo crecerá a tasas moderadas del 0.8 al 1.2% en promedio anual, en el período que va de ahora al 2000. Se considera que serán los países en desarrollo los que tendrán el mayor crecimiento en su consumo de petróleo. Esto será el reflejo de su crecimiento económico, siempre y cuando resuelvan sus problemas financieros y de deuda externa.

Por el lado de la oferta, aún cuando diversos países en desarrollo continuaron aumentando su producción de hidrocarburos, los descensos en países con reservas declinantes como Estados Unidos y Gran Bretaña, comenzaron a compensar los aumentos de los primeros, con lo cual la producción de la OPEP podría alcanzar el 80% de su capacidad instalada hacia mediados de los noventas.

A lo anterior hay que agregar otro factor que cada día será más importante en la determinación del comportamiento energético internacional, la contaminación ambiental. En mayor o menor grado, la sociedad se preocupa cada vez más por el cuidado del ambiente, lo que implicará leyes y reglamentos cada vez más estrictos para las actividades de exploración, así como para limitar las emisiones de gases y otros componentes tóxicos y para elevar la calidad de los combustibles.

El cuidado del medio ambiente jugará un papel central en la determinación de las participaciones de las diversas fuentes de energía en el balance total, así como sus precios relativos. Es seguro que el petróleo seguirá siendo la principal fuente de energía primaria, aún cuando su importancia relativa podría disminuir del 37.6% que tenía en 1988 a 35 en el año 2000. Otros combustibles fósiles como el carbón y particularmente el gas natural aumentarán su participación; en menor medida lo hará la energía nuclear. La generación eléctrica seguirá usando más carbón y uranio. En cambio el petróleo mantendrá su predominio en el transporte y la petroquímica.

Los países con mayores perspectivas para generar electricidad a base de carbón son los de la cuenca del Pacífico y Estados Unidos. Los países con mejor situación para aumentar la participación de la energía nuclear son Japón, Francia, Corea del Sur, Unión Soviética y algunos países del bloque socialista. En cuanto a la hidroenergía, la geotermia y otras fuentes renovables, se espera que mantengan su participación en el consumo primario.

I.4. LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL.

I.4.1. Situación Nacional.

El papel es uno de los artículos de consumo generalizado e imprescindible en el mundo actual. Es más, su consumo y producción puede utilizarse como uno de los índices del grado de desarrollo de un país.

Existen más de mil tipos de papel que se diferencian por características como el peso, espesor, resistencia mecánica, color, dureza y porosidad. Este tipo de papeles puede agruparse en las siguientes categorías:

- papel periódico,
- papel de impresión y escritura,
- papel de empaque y embalaje,
- papel sanitario y facial y
- papeles especiales.

El producto interno bruto de la industria de la celulosa y del papel (ICP), creció entre 1970 y 1985 a una tasa media anual de 5.7%, ritmo más acelerado que el de la industria manufacturera en general; en ese lapso representó el 3% del PIB manufacturero.

El consumo nacional aparente de celulosa aumentó entre 1970 y 1985 4.3% por año en promedio, alcanzando 1,331,000 toneladas. El de papel fue de 5.7%, en 1985 sumó un total de 2.5 millones de toneladas.

Tradicionalmente, México ha sido deficitario en la producción de celulosa, por lo que se ha visto en la necesidad de importarla. En 1985 las importaciones de celulosa fueron del orden del 27% del total consumido. Se prevé que esta situación no se revertirá en el corto plazo debido a los rezagos en infrestructura forestal e industrial.

Por su parte, la producción de papel se incrementó entre 1970 y 1985 en 6.9% Así, aunque se compran en el exterior cantidades importantes de papeles especiales, en la actualidad las importaciones constituyen un bajo porcentaje del consumo total e incluso se exportan excedentes de otros tipos de papel. Los papeles que más se importan son el sanitario y el facial.

En 1985 se tenía una capacidad instalada de 1,035,000 toneladas anuales de celulosa con un aprovechamiento del 79% (Cuadros I.5. y I.6.). La estructura de la producción nacional de celulosa en 1985 fue la siguiente: 56% de celulosa química de madera, 30% de celulosa química de plantas temporales (bagazo de caña y paja), 13% de celulosa mecánica de madera y 1% de otros tipos de celulosa. Es importante hacer notar la elevada participación de la producción de celulosa a partir del bagazo de caña en México.

CUADRO I.5.
CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE CELULOSA
(MILES DE TONELADAS)

AÑO	DE MADERA BLANQUEDA	DE MADERA SIN BLANQ.	DE PLANTAS ANUALES BLANQUEADA	DE PLANTAS ANUALES SIN BLANQ.	PASTA MECANICA	TOTAL
1978	271.0	208.5	290.0	74.0	79.0	922.5
1979	280.0	215.5	305.5	62.5	79.0	942.5
1980	290.0	225.5	274.0	62.5	79.0	931.0
1981	299.0	267.0	287.0	61.0	79.0	993.0
1982	298.0	262.0	323.0	60.5	70.0	1022.5
1983	302.0	245.0	363.0	59.0	109.0	1078.0
1984	301.0	249.0	342.0	61.0	115.0	1068.0
1985	294.0	253.5	294.0	60.0	133.0	1034.5

FUENTE: CNICP, 1986.

CUADRO I.6

APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA
PARA LA PRODUCCION DE CELULOSA (%)

AÑO	DE MADERA BLANQUEDA	DE MADERA SIN BLANQ.	DE PLANTAS ANUALES BLANQUEADA	DE PLANTAS ANUALES SIN BLANQ.	PASTA MECANICA	TOTAL
1978	87.0	87.7	63.6	59.1	75.7	76.6
1979	86.4	76.1	67.3	74.7	75.3	76.1
1980	81.0	75.4	85.3	70.9	58.4	78.6
1981	80.0	69.5	79.7	63.8	63.3	74.8
1982	79.0	72.8	74.2	48.3	67.6	73.2
1983	71.5	83.0	68.5	60.2	51.5	70.5
1984	83.9	76.7	74.4	61.1	57.0	75.0
1985	88.5	82.4	78.2	30.8	77.4	79.3

FUENTE: CNICP, 1986.

México tenía en 1985 una capacidad instalada de 313,000 toneladas anuales para producción de papel, con una capacidad de utilización del 74% (Cuadro I.6.). La estructura productiva de ese año se distribuía así: 53% de papel y cartoncillo para empaque, 19% otros papeles para escritura, 13% para papel periódico, 12% para papel sanitario y facial y 3% de papeles especiales como china, crepé, Glassine, etc.

En 1988 la estructura productiva fue la siguiente: Escritura e impresión 31.88%, papel para empaque 52.42%, papel periódico y para libro de texto 19.93 %, papel sanitario y facial 13.86%, papeles especiales 1.84% [Ref.7].

México ocupó en 1984 el 14° lugar en producción de papel y el 13° en su consumo (Cuadro I.7.).

Respecto al consumo de papel per capita, la diferencia entre los países subdesarrollados y los industrializados es muy grande (Cuadro I.8). Así, en 1984 el consumo medio per capita en México fue de 29.9 kilogramos; el mayor de Latinoamerica fue de 32 kg. En cambio en los Estados Unidos el consumo fue de 324 kg, es decir más de 10 veces superior al de México y el más elevado del mundo.

El promedio de consumo en Europa Occidental fue 4 veces más elevado al de México; en la URSS el consumo medio de papel es de 34 kilogramos por habitante. Adicionalmente, conviene aclarar que en este último país no se producen ni consumen algunos tipos de papel que son de uso común en Occidente.

Los Cuadros I.9. y I.10. muestran la capacidad instalada para la fabricación de papel por grupos en miles de toneladas y el aprovechamiento de la capacidad instalada para la producción de papel por grupos en porcentaje.

Se observa que los papeles de empaque representan más de la mitad de la capacidad instalada (54.1.%) y que el aprovechamiento de dicha capacidad es ligeramente superior al 70 %.

El Cuadro I.11. por su parte muestra el consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel; se aprecia la elevada proporción de contribución de las fibras secundarias y dentro de las celulósicas el alto porcentaje de las de madera.

La estructura productiva de la ICP mexicana contaba en 1985 con 69 plantas, de las cuales 48 producían exclusivamente papel, 7 solamente celulosa y 14 estaban integradas, es decir producían simultaneamente celulosa y papel; esto representó el 20.28% del total, lo ideal que el total de las plantas fueran integradas, pues con eso podrían tener considerables ahorros de energía.

CUADRO I.7.
PRINCIPALES PRODUCTORES Y CONSUMIDORES DE PAPEL Y PULPA EN 1984
(MILES DE TONELADAS)

PRODUCCION DE PAPEL Y CARTON		PRODUCCION DE PULPA		CONSUMO DE PAPEL Y CARTON	
1. E.U.A.	62,307	1. E.U.A.	50,394	1. E.U.A.	68,636
2. Japón	19,345	2. Canadá	20,173	2. Japón	19,200
3. Canadá	14,222	3. Suecia	9,240	3. Alemania	10,784
4. URSS	9,825	4. Japón	9,127	4. URSS	9,449
5. Alemania	9,157	5. URSS	8,152	5. Reino Unido	7,502
6. China	7,560	6. Finlandia	8,031	6. China	7,328
7. Finlandia	7,318	7. China	5,352	7. Francia	6,809
8. Suecia	6,869	8. Brasil	3,387	8. Italia	5,288
9. Francia	5,566	9. Alemania	2,222	9. Canadá	5,029
10. Italia	4,714	10. Francia	2,052	10. Brasil	3,286
11. Brasil	3,765	11. Noruega	1,864	11. España	2,985
12. R.Unid	3,507	12. España	1,435	12. Holanda	2,468
13. España	2,950	13. Austria	1,229	13. México	2,265
14. México	2,240	14. Sudáfrica	1,165	14. Australia	2,207
15. Corea S.	2,207	15. N. Zelanda	1,158	15. Corea S.	2,193
16. Taiwán	1,929	16. Portugal	1,155	16. Taiwán	1,981
17. Austria	1,922	17. Checoeslov.	1,052	17. Suecia	1,899
18. Holanda	1,885	18. India	1,050	18. Bélgica	1,609
19. Noruega	1,562	19. Polonia	878	19. India	1,502
20. Australia	1,559	20. Rumania	845	20. Sudáfrica	1,407

FUENTE: Pulp and Paper International, August 1985, Annual Review, p. 71.

CUADRO I.8.
CONSUMO PER CAPITA DE PAPEL EN PAISES SELECCIONADOS
(KILOGRAMOS)

	1980	1981	1982	1983	1984
Latinoamérica					
Argentina	33.8	30.0	32.2	32.0	32.0
Bolivia	3.8	3.2	18.0	18.0	17.7
Brasil	27.9	29.1	26.0	26.0	24.5
Colombia	17.0	16.8	16.7	16.1	16.1
Chile	28.7	25.0	19.3	22.9	22.4
Ecuador	9.9	10.9	11.6	11.6	11.1
México	36.7	36.0	30.2	30.2	29.2
Perú	12.6	10.0	9.1	9.3	9.6
Uruguay	21.9	25.0	16.8	16.9	20.0
Venezuela	45.3	44.9	47.5	46.4	45.4
Europa Occidental					
Francia	112.8	111.5	112.0	118.5	123.4
Alemania	157.8	157.7	153.6	159.9	175.8
Reino Unido	122.0	126.0	121.4	127.8	135.5
Finlandia	222.8	257.7	313.5	236.0	279.0
Noruega	123.6	134.3	127.6	137.0	149.3
Suecia	217.8	199.4	209.6	231.6	149.3
España	72.3	71.2	74.6	73.1	78.1
América del Norte					
Canadá	168.3	189.6	165.3	187.2	199.4
Estados Unidos	264.4	265.7	252.1	268.4	289.3
Otros países					
Japón	153.4	142.7	146.5	154.0	160.5
Australia	139.5	137.4	143.6	126.2	133.5
Nueva Zelanda	134.5	142.3	171.2	157.3	133.4
India	2.0	2.1	2.1	2.1	2.0
U.R.S.S.	32.2	33.0	32.6	33.2	34.2

FUENTE: CNICP, 1985 Y Paper Review of the year 1985.

CUADRO I.9.
CAPACIDAD INSTALADA PARA LA FABRICACION DE PAPEL
(MILES DE TONELADAS)

AÑO	PERIODICO Y LIBRO DE TEXTO	ESCRITURA E IMPRESION	EMPAQUE	SANITARIO Y FACIAL	ESPECIALES	TOTAL
1978	155.0	376.0	1205.0	172.0	60.0	1968.0
1979	155.0	454.0	1309.5	171.0	65.5	2155.0
1980	190.0	456.0	1411.5	217.5	68.0	2343.0
1981	201.0	515.0	1512.0	263.0	75.0	2556.0
1982	241.0	616.0	1548.0	314.0	85.0	2804.0
1983	316.0	595.0	1645.0	320.0	91.0	2967.0
1984	305.0	588.0	1695.0	415.0	95.0	3098.0
1985	394.0	589.0	1793.0	438.5	98.5	3313.0

FUENTE: CNICP, 1986.

CUADRO I.10.
APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTALADA
PARA LA PRODUCCION DE PAPEL (%)

AÑO	PERIODICO Y LIBRO DE TEXTO	ESCRITURA E IMPRESION	EMPAQUE	SANITARIO Y FACIAL	ESPECIALES	TOTAL
1978	70.3	86.7	79.3	84.3	78.3	80.4
1979	84.5	81.5	77.4	94.7	82.4	80.3
1980	75.3	91.4	78.5	78.5	64.7	80.9
1981	78.1	77.3	74.6	85.2	68.0	76.3
1982	69.3	66.6	71.4	79.0	64.7	70.8
1983	62.3	68.4	70.1	76.9	64.8	69.5
1984	86.6	75.7	70.7	65.8	63.2	72.3
1985	83.0	77.4	72.1	70.0	64.0	73.8

FUENTE: Idem.

Además, se puede observar que 35 plantas se encuentran en el Distrito Federal y el Estado de México, más del 50%, lo cual significa una concentración muy grande, por lo que sería provechoso que en el futuro se tuviera una ubicación más adecuada a la geografía del país.

La industria de la celulosa y del papel disminuyó su consumo de energía en 4.3% entre 1988 y 1987 [Ref.5] al pasar de 11.7 billones de kilocalorías a 11.2. Esta rama participó en 1989 con 4.2% de la energía empleada por el sector industrial en su conjunto, lo que la ubica como la 7_a. rama en importancia industrial en México en ese año. Además su consumo de energía creció en 6.2 % respecto al de 1988. [Ref.5].

Por tipo de energético, el combustóleo representó la mayor parte del total, con 44.8%, equivalente a 5.5 billones de kilocalorías. El gas natural participó con 39.1%, la electricidad con 11.5% y el diesel con el 0.6% restante.

El consumo de combustóleo significó el 8.6% de los requerimientos industriales y el 2.1% del consumo nacional del energético. Para producir los 3.4 millones de toneladas de celulosa y papel se requirieron 3.3 millones de kilocalorías por tonelada en 1988, cifra 5.7% inferior a la del año anterior.

El cuadro I.12. muestra las empresas de la ICP mexicana que operaban en 1989 y su distribución en el país. Como puede observarse, la situación casi no varía respecto a la de 1985; sólo que ahora son 72 plantas, o sea 2 más, una en Tamaulipas, otra en Durango y una más en el Estado de México; la de Guerrero desapareció o por lo menos no se consigna. Por otro lado, el porcentaje de plantas que producen papel en 1989 es de 74.64%, las que producen sólo celulosa es de 11.26% y las integradas constituyen el 14.08%.

I.4.2. La Industria Papelera en el Mundo

La industria del papel ha tenido un elevado ritmo de crecimiento y desarrollo en los últimos 25 años, a nivel internacional. La producción mundial en 1983 estaba concentrada en un 85% en sólo 15 países [Ref.6.] de los cuales los tres primeros productores, es decir, Estados Unidos, Japón y Canadá cubrían más del 50% del total. Así mismo, de esos 15 países sólo 4 eran exportadores: Canadá, Suecia, Finlandia y Brasil. El Cuadro I.13. muestra la estructura de producción mundial de papel en 1985, como puede observarse los 4 mayores productores en ese año fueron Estados Unidos, Japón, Canadá y la U.R.S.S., pero aún así no cubren todas sus necesidades, con excepción de U.R.S.S. y Canadá, este último exporta casi el doble de lo que consume, pues así lo expresa su relación de producción/consumo que es de 294.6%.

CUADRO I.11.
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCION DE PAPEL
(%)

AÑO	CELULOSA QUIMICA MADERA SULFATO	CELULOSA QUIMICA MADERA SULFITO	CELULOSA QUIMICA PLANTAS ANUALES	PASTA MECANICA MADERA	OTRAS CELU-LOSAS	SUBTOTAL CELULOSAS	FIBRAS SECUN-DARIAS	TOTAL
1974	27.0	3.7	14.7	6.5	1.9	53.8	1.2	100
1975	27.1	3.1	14.4	5.5	1.7	51.8	48.2	100
1976	27.6	2.7	14.2	5.3	1.7	51.5	48.5	100
1977	26.6	1.9	14.6	4.5	1.1	48.7	51.3	100
1978	26.3	2.2	13.7	5.5	1.3	49.0	51.0	100
1979	25.7	2.8	13.3	4.1	0.9	46.8	53.2	100
1980	24.2	1.8	13.6	3.7	0.8	44.1	55.9	100
1981	25.7	1.2	12.5	3.7	1.0	44.1	55.9	100
1982	26.2	0.9	12.5	3.7	0.5	43.8	56.2	10
1983	25.0	0.7	12.2	3.1	0.4	41.4	58.6	100
1984	25.6	0.6	11.5	3.2	0.7	41.6	58.4	100
1985	27.9	0.4	9.2	5.4	0.5	43.4	56.6	100

FUENTE: CNICP, 1986.

CUADRO I.12.
ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PAPELERA MEXICANA EN 1989
(POR PLANTAS)

ESTADO	CELULOSA	PAPEL Y CELULOSA	PAPEL	TOTAL
Baja california nte.	-	-	1	1
Chihuahua	1	-	1	2
Distrito Federal	-	-	10	10
Durango	2	-	-	2
Jalisco	-	1	3	4
México	3	4	17	24
Michoacán	-	1	1	2
Morelos	-	-	1	1
N. León	-	-	5	5
Oaxaca	-	1	-	1
Puebla	-	-	2	2
Querétaro	-	-	2	2
San Luis Potosí	1	-	3	4
Sonora	-	-	1	1
Tamaulipas	1	-	-	1
Tlaxcala	-	1	3	4
Veracruz	-	2	3	5
TOTAL	8	10	53	71

FUENTE: CNICP, 1989.

CUADRO I.13.
ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PAPELERA MUNDIAL EN 1985
(MILES DE TONELADAS)

POSICION	PAIS	PRODUCCION %	PRODUCCION/CONSUMO
1.	Estados Unidos	60,830	93.8
2.	Japón	18,443	99.7
3.	Canadá	13,819	294.6
4.	U.R.S.S.	9,556	101.6
5.	Alemania Federal	8,272	84.2
6.	China	6,619	95.5
7.	Suecia	6,409	334.2
8.	Finlandia	6,388	540.9
9.	Francia	5,261	80.7
10.	Italia	4,259	87.2
11.	Brasil	3,430	123.5
12.	Reino Unido	3,240	45.3
13.	España	2,754	99.0
14.	México	2,062	91.4
15.	Corea del Sur	1,932	103.9
	Resto del mundo	23,993	

FUENTE: Consumo de energía en la Industria, SEMIP, 1988.

Pero sin duda los más grandes exportadores de papel fueron Suecia y Finlandia con índices de producción/consumo de 334.2 y 540.9%, lo cual significa que exportan más de 3 y 5 veces, respectivamente, lo que consumen.

Desde luego que tambén hay importadores netos de papel como el Reino Unido y Francia. En 1985 México ocupó el 14° lugar con una producción de 2,062,000 toneladas, pero a pesar de eso, importa casi el 10% de su consumo total de papel.

CAPITULO II

PROCESOS INDUSTRIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL

Yo sólo sé que nada sé.

SOCRATES

CAPITULO II. PROCESOS INDUSTRIALES EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL.

II.1. INTRODUCCION.

II.1.1. Breve historia de la Celulosa y del Papel.

Con la palabra papel se describe una hoja mezclada, de fibras formadas mediante la introducción de una solución acuosa en una fina criba. El agua se drena a través de la criba, dejando una hoja húmeda de papel que es removida y secada. Para contribuir a las propiedades deseadas del papel, se agregan antes o después de la formación de la hoja substancias especiales.

Entre el papel y el cartón no hay una línea divisoria claramente definida; generalmente el cartón es más grueso y pesado y menos flexible que el papel. La mayor parte de las hojas que son más gruesas que 0.012 pulgadas (o mayores de 12 puntos) se clasifican como cartón, y a las que son más delgadas de, 0.006 pulgadas se les llama papel.

El papel no se define únicamente por la composición [Ref.9] de las fibras que se usan para fabricarlo, sino también por las fibras de las que procede. Las hojas de papel se pueden hacer a partir de fibras de asbesto, seda, lana, vidrio, plástico, metal y muchos otros materiales; algunos de estos materiales se usan comunmente, sin embargo, su costo es generalmente mayor que el de los papeles hechos con fibras de celulosa. Las propiedades específicas de algunos papeles especiales justifican el uso de fibras no celulósicas en algunas aplicaciones.

Aunque la hoja de papel se forma comunmente de una suspensión de fibras en agua, se pueden usar otros fluídos. Pero la disolución de fibras de celulosa en agua contribuye a darle propiedades únicas al papel.

La invención del papel se atribuye a Ts'ai Lun en China en el año 105 de nuestra era. Sin embargo, el uso del papel se remonta a antes de la era cristiana y es un arte muy antiguo.

Los chinos maceraban las fibras de arroz, caña, lino,cañamo y cortezas de árboles en agua y drenaban la suspensión en un molde cubierto con una tela de seda. Las esterillas de fibras eran removidas y secadas al sol para formar papel.

El papel de envoltura saltó a Corea y a Japón y encontró su camino hacia el Oeste por las rutas de las caravanas de camello, hasta llegar a los árabes en el año 750 de nuestra era. La manufactura del papel fue introducida en España en el siglo XII, en Italia en el XIII, en Francia y Alemania en el XIV y en

Inglaterra en el XV. El primer molino de papel americano se instaló en 1690.

Antes de la invención de la máquina para hacer papel en 1800, el papel era hecho mediante un tedioso proceso manual; los materiales fibrosos, tales como trapos de algodón y lino se presionaban en presencia de agua, hasta que alcanzaban la condición deseada para la manufactura del papel. Las fibras se conformaban entonces en un lodo poco denso, en un tanque largo o en una tina. Un molde rectangular ajustado al fondo con una criba se introducía dentro de la suspensión y luego era retirado. El agua se drenaba a través de la criba, mientras quien fabricaba el papel golpeaba el molde lateralmente, para asegurar la eventual formación de las fibras en una hoja. La hoja húmeda se removía de la criba mediante la presión de una banda y, posteriormente, se dejaba al aire para secar.

Con la introducción de la máquina de hacer papel, el laborioso proceso manual declinó en importancia, así, hoy día, practicamente nadie hace papel a mano, a no ser que sea para usos artísticos,como es el caso de los famosos papeles Amates de Guerrero y Oaxaca.

En 1798 se inventó la máquina Fourdrinier por Nicolas Louis Robert en Francia, y pronto fue desarrollada extensivamente por los hermanos Fourdrinier en Inglaterra. La máquina de hacer papel forma, presiona y seca la hoja en forma continua. Durante el siglo XIX se desarrollaron los métodos para la manufactura de pastas de madera mecánica y química, las cuales gradualmente se establecieron como las principales proveedoras de la materia prima en fibras para la elaboración de papel.

II.1.2. Fuentes de Fibras Celulósicas.

Fibras de Celulosa de Madera.

La mayor cantidad de la materia prima fibrosa procede de la madera, ya sea ésta dura o blanda; se utilizan más las maderas blandas. La pasta celulósica se hace por dos procesos fundamentales: el químico y el mecánico, de allí que las pastas resultantes reciban el nombre de pasta química o mecánica, respectivamente.

Otras Fuentes de Celulosa.

Aunque la mayor parte de la materia prima fibrosa procede de la madera, existen otras fuentes de este material como las siguientes: Algodón otrapo viejo,manila, yute y jarciería, fibras de diferentes yerbas o arbustos, como las pajas del trigo, avena, centeno, arroz, y cebada. Hay otras dos fuentes como el bambú y una muy importante que es el bagazo de caña

El bagazo es el residuo de la caña de azúcar que queda después de extraerle su jugo. Tiene el potencial de convertirse en una materia prima de gran cantidad de fibra. Actualmente se usa mucho para elaborar diferentes tipos de papel. En México la utilización del bagazo está ampliamente difundida en la industria papelera.

II.1.3. Papeles Regenerados.

El papel stock obtenido a partir de papeles regenerados de desperdicio, constituye una importante fuente de fibras y aporta más de la quinta parte del total de la materia prima para la manufactura del papel y del cartón del mundo. Los papeles y cartones regenerados se disuelven en agua y se procesa el stock para quitarles los materiales extraños. Los principales usos son para cartones, papeles de envoltura y para construcción.

El papel destintado stock, se produce a partir del papel impreso o del no impreso reciclado. Una combinación de desintegración mecánica y tratamiento con reactivos químicos y agentes dispersantes remueven la tinta, el relleno y otros materiales extraños. Se lava el papel stock y se blanquea. Esta pasta se usa en la elaboración de papeles de impresión, para hacer libros, para escritura, para oficina y faciales y sanitarios.

II.2. PRINCIPALES PROCESOS EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE LA CELULOSA.

Actualmente en México se producen las siguientes celulosas vírgenes, las cuales pueden ser sometidas a un proceso de blanqueo de acuerdo a su aplicación [Ref.7]:

a) Celulosa mecánica (proveniente de maderas de coníferas).
b) Celulosa termomecánica (de madera de coníferas y especies latifoliadas).
c) Celulosa química de madera (al sulfato y a la sosa).
d) Celulosa química de plantas anuales (obtenida mediante el cocimiento alcalino de bagazo de caña de azúcar o pajas de cereales).

El tipo de pasta es una variable fundamental en la elaboración del papel. Las dos características más importantes del papel que determinan su uso son su color y resistencia. Para escritura e impresión se requiere papel blanco y brillante; para embalaje, papeles duros y resistentes; para usos higiénicos, papeles absorbentes y suaves.

El Cuadro II.1. presenta la clasificación de los tipos de papel en función de su uso y su espesor o gramaje, así como sus pastas básicas de fabricación. El Cuadro II.2. muestra el peso promedio de los mismos por unidad de superficie.

CUADRO II.1.
CLASIFICACION DEL PAPEL POR GRUPOS

GRUPOS (USO)	SUB-GRUPOS (g/m^2)	MATERIA PRIMA (BASICA)	TIPO (USO)	LIMITES (g/m^2)
IMPRESION Y ESCRITURA	PAPEL < 150	Pulpas blancas	Aéreo y Copia	30-33
			Bond	45-120
		Pulpa semi-blanca	Recubierto	60-120
			Ediciones	48-120
			Periódico	45-55
	CARTULINA > 150 < 600	Pulpas blancas	Cartulina	150-250
		Pulpa semi-blanca	Cartulina Recubierta	320-600
EMPAQUES	PAPEL < 150	Pulpa color natural	Sacos	70-165
		Fibra recuperada	Bolsas	45-90
		Pulpas blancas	Envolturas	20-60
			Liner	135-380
			Corrugado	130-135
	CARTONCILLO > 150 < 600	Pulpa color natural	Dúplex	300-600
		Fibra recuperada	Dúpex recub.	300-600
		Pulpas blancas	Gris y colores	150-300
SANITARIO Y FACIAL	PAPEL < 150	Pulpas blancas	Higiénico	16-12
		Pulpa semi-blanca	Pañuelos	16-22
		Pulpa color natural	Servilletas	19-26
		Fibra recuperada	Toallas	21-43
ESPECIALES	PAPEL < 150	Pulpas blancas		
		Pulpa semi-blanca		
	CARTULINAS > 150 < 600	Pulpa color natural		

FUENTE: Cámara Nacional de la Industria de la celulosa y el papel, 1984.

CUADRO II.2.
PESO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE PAPELES

TIPOS DE PAPELES	PESO (GRAMOS POR METRO CUADRADO)
ESCRITURA E IMPRESION	
PAPEL	HASTA 160
Aéreo y copia	30 - 33
Bond	45 - 120
Ediciones	48 - 120
Recubierto	60 - 120
Periódico	45 - 55
Libros de texto	45 - 55
CARTULINA	160 - 600
Cartulina sin recubrir	160 - 250
Cartulina recubierta	320 - 600
EMPAQUE	HASTA 600
PAPEL	HASTA 160
Sacos	70 - 105
Bolsas	45 - 90
Envolturas	20 - 60
Liner	135 - 600
Corrugado	130 - 135
CARTONCILLO	160 - 600
Dúplex sin recubrir	300 - 600
Dúplex recubierto	300 - 600
Gris	160 - 300
SANITARIO Y FACIAL	HASTA 160
ESPECIALIDADES	10 - 600
Glassine	30 - 60
China	30 - 45
Otros	10 - 600

FUENTE: Comisión de Normas, SECOFIN.

II.2.1. CELULOSA QUIMICA.

Los procesos más importantes para elaborar celulosas químicas son el del sulfito, sulfito modificado, sulfato y sosa. El tratamiento químico disuelve la mayor parte de la lignina, que es el material de unión y permite la separación de las fibras de la celulosa. La pasta química de madera no blanqueada se usa en varios tipos de papel sin mayor purificación. Cuando se requiere un mejor color y estabilidad, la pasta se blanquea para quitarle los colorantes y otras impurezas.

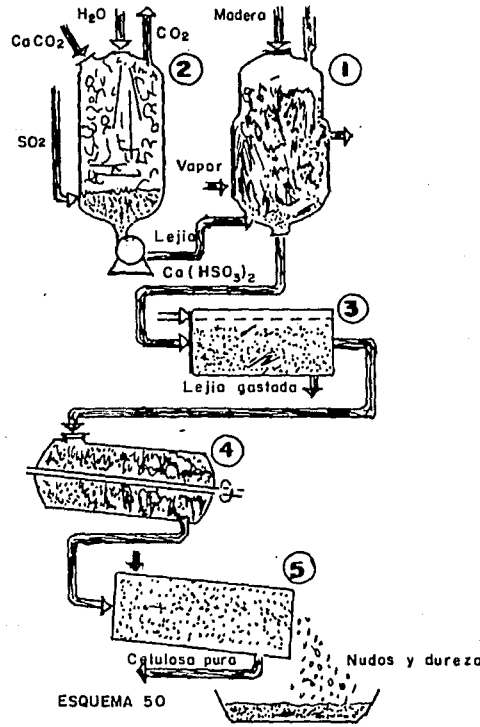
En la producción de la pasta química de madera los trozos son triturados y convertidos en astillas. Estas son cribadas y cargadas, junto con los reactivos químicos, al digestor para su cocción. El proceso puede ser continuo o discontinuo y los digestores esféricos o cilíndricos, rotatorios o estacionarios. La temperatura deseada se puede obtener mediante la introducción directa de vapor o mediante la circulación del licor a través de un intercambiador de calor externo. Los digestores continuos son calentados por vapor y están provistos con medios para transportar las astillas y la pasta química, al inicio y al final de la carga y descarga.

1) Proceso al sulfito.

En el proceso ácido convencional al sulfito, las astillas se convierten en pasta mediante un licor de cocción que contiene bisulfito de calcio $Ca(HSO_3)_2$ con un exceso de ácido sulfhídrico libre (H_2SO_3). Otras bases como el sodio, el amonio y el magnesio están siendo sustituídas por calcio, porque es más fácil recuperar en el producto desarrollado, los reactivos químicos inorgánicos, y porque se tiene la posibilidad de procesar el licor usado para recuperar las materias orgánicas disueltas (Figura II.1.).

El pH del licor de cocción se sitúa en un intervalo de 1 a 2, la temperatura máxima en el proceso de pulpado es de 145°C. La pasta al sulfito se produce por digestión a temperaturas más bajas, y durante tiempos mayores que los que se aplican en la producción usual de pasta por el sulfito ácido. La pasta se usa ampliamente en los papeles vidriados y resistentes a la grasa.

Actualmente, el proceso al sulfito ha decaído notablemente, a nivel nacional e internacional; esto se debe a que tiene varios inconvenientes como la inflexibilidad para manejar un gama amplia de especies forestales, tiempo de cocción bastante prolongado, problemas de corrosión y, sobre todo, la producción de pastas cuya resistencia es mucho menor que las que se obtienen por el proceso Kraft.



1. TORRE DE REACTIVOS
2. DIGESTOR
3. DIFUSOR
4. TAMBOR TRITURADOR
5. COLECTORES DE NUDOS E IMPUREZAS

FIG. II. I. ELABORACION DE CELULOSA AL SULFITO.

FUENTE. "Métodos de la industri Quimica" L. MAYER.

2) Proceso del sulfito modificado.

Este proceso emplea bisulfito de sodio o de magnesio ($NaHSO_3$ ó $Mg\{HSO_3\}_2$), como reactivo químico. No se usa el ácido sulfhídrico. El pH del licor de cocción es de aproximadamente 4.5. La temperatura de elaboración de la pasta varía entre 155 y 170°C.

Las pastas al sulfito neutro o sulfito neutro semiquímico (SNSQ), se producen por la digestión con un licor que contiene sulfito de sodio como reactivo (Na_2SO_3). El pH inicial del licor es de 10; también contiene carbonato de sodio para asegurar que la cocción permanezca ligeramente alcalina. Las pastas SNNSQ se elaboran comunmente de maderas duras, también se utilizan algunas maderas suaves con bajo contenido de resina.

La producción es alta y las cantidades residuales de hemicelulosa y lignina, son mayores que en el proceso completamente químico. Una aplicación importante es un medio corrugado. Las pastas semiquímicas pueden blanquearse, pero a menudo son usadas sin blanqueo.

3) Proceso alcalino.

El proceso con sosa es el proceso comercial de fabricación de pasta más antiguo. Las astillas son digeridas con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 4% de concentración y a una temperatura de 170 a 175°C. La pasta alcalina se hace principalmente de maderas duras. En combinación con otras clases de pasta, contribuye al grosor y la opacidad del papel, por lo que es de particular valor en las pastas para papel de impresión. El proceso alcalino ha perdido importancia debido al crecimiento de la industria de la pasta al sulfato.

4) Proceso al sulfato.

El proceso nacional más difundido para la obtención de celulosa a partir de madera es el denominado al sulfato o Kraft. Las operaciones básicas se resumen en la Figura II.2. En la primera fase del proceso, la madera se reduce a astillas y se tamiza antes de pasar al tanque digestor, en el cual tienen lugar una serie de reacciones químicas -aún en la actualidad no totalmente entendidas- y físicas. En el digestor se efectúa un proceso de cocimiento (Figura II.3.), bajo condiciones controladas de presión (7-8 Kg/cm^2) y temperatura (175°C), que dura entre 2 y 4 horas. En este lapso se hidrolizan, mediante reactivos alcalinos, determinados enlaces de la lignina. El ataque químico se lleva a cabo de tal manera que asegure el menor degradamiento de las fibras celulósicas.

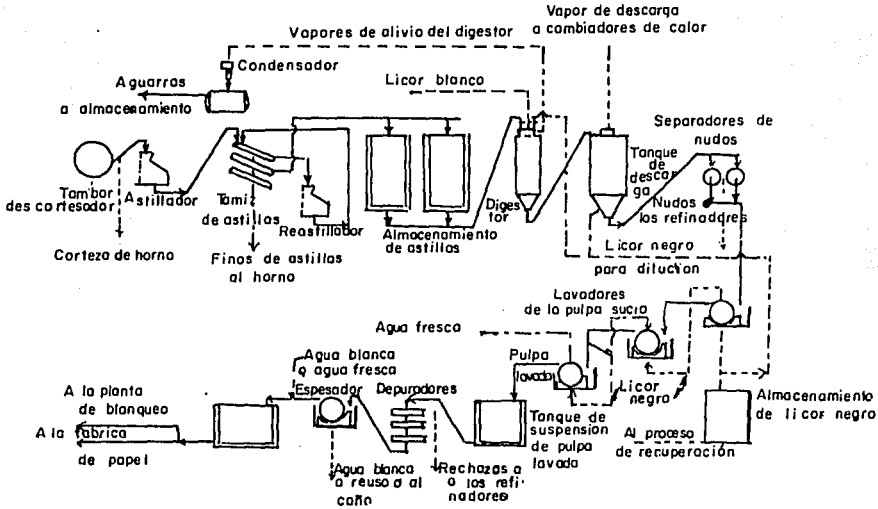


FIG. II.2 OPERACIONES BASICAS PARA ELABORAR CELULOSA KRAFT

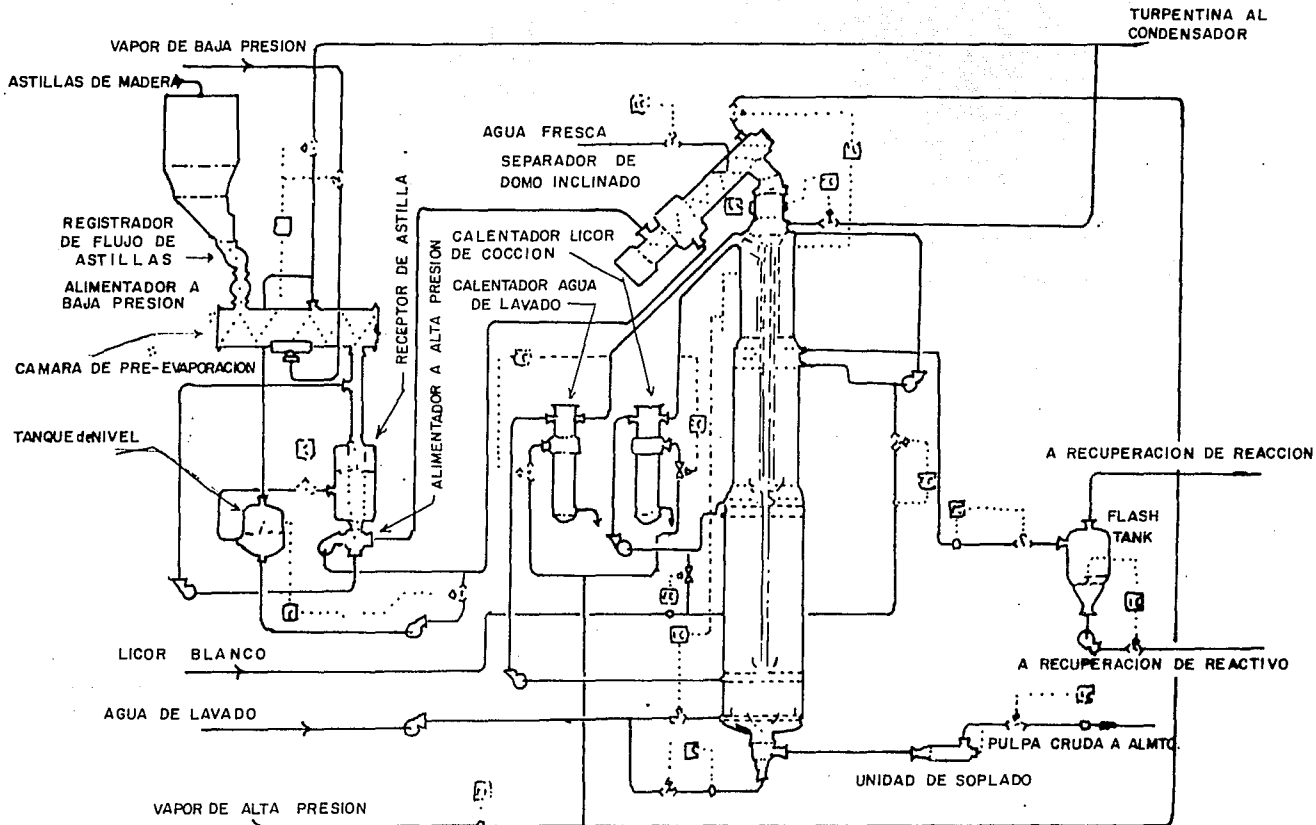


FIG. II. 3 PROCESO DE COCCION EN UN DIGESTOR

El reactivo utilizado, denominado "licor blanco", es una mezcla de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na_2S); este último tiene la función de reponer la sosa que se va consumiendo en las reacciones de delignificación. Se emplean entre 2.5 y 3.5 Kg de licor por Kg de madera.

La economía de este proceso de producir celulosa, depende principalmente de un adecuado sistema para recuperar los reactivos empleados en la etapa de digestión (Figura II.4.). Mediante filtrado y lavado se separan el licor negro y la pasta. El licor se concentra por evaporación hasta que contiene de 60-65% de sólidos, y de ahí se transfiere a un horno o caldera especial, en el que se efectúa la reducción del sulfato, previamente adicionado, a sulfuro.

El calor proveniente de la combustión del licor negro puede aprovecharse para producir vapor, pues su poder calorífico es elevado. Por ejemplo, el licor negro de madera tiene alrededor de 1,900 kcal/Kg de licor a 60% de sólidos; mientras que el licor negro de bagazo de caña tiene 1,215 kcal/Kg de licor a 39% de sólidos.

También pueden recuperarse una serie de subproductos como aguarrás, brea, jabón, etc.

Del horno de recuperación sale una masa fundida de reactivos inorgánicos, la cual recibe un choque de vapor antes de caer al tanque de licor verde. Este licor es una mezcla de sulfuro, sulfato y carbonato de sodio que posteriormente se caustifica con cal para regenerar el hidróxido de sodio. Los lodos de carbonato de calcio se hacen circular a través de un horno rotatorio en donde por calcinación se regenera el óxido de calcio (CaO).

La pasta cruda sufre una serie de operaciones para ser depurada y blanqueada. Primero se tamiza y lava con agua, se filtra y se vuelve a lavar antes de ser sometida al proceso de blanqueo. La pasta al sulfato o Kraft se elabora mediante la digestión de las astillas, con un licor que contiene hidróxido de sodio y sulfuro de sodio. El proceso se aplica ampliamente, y se puede usar para convertir en pasta casi cualquier material fibroso. El ciclo de cocción requiere de aproximadamente 3 ó 4 horas a temperaturas de 170 a 175°C.

El licor negro que contiene materiales orgánicos disueltos que provienen de la madera, se concentra y quema para recuperar el calor de combustión, que es importante y las sustancias inorgánicas que contiene. El sulfato de sodio se agrega como un reactivo necesario para compensar las pérdidas durante la operación de recuperación. EL proceso al sulfato ha llegado a ser el más importante de los procesos de elaboración de pasta, y procesa cerca del 50% de toda la pasta química de madera que se produce mundialmente.

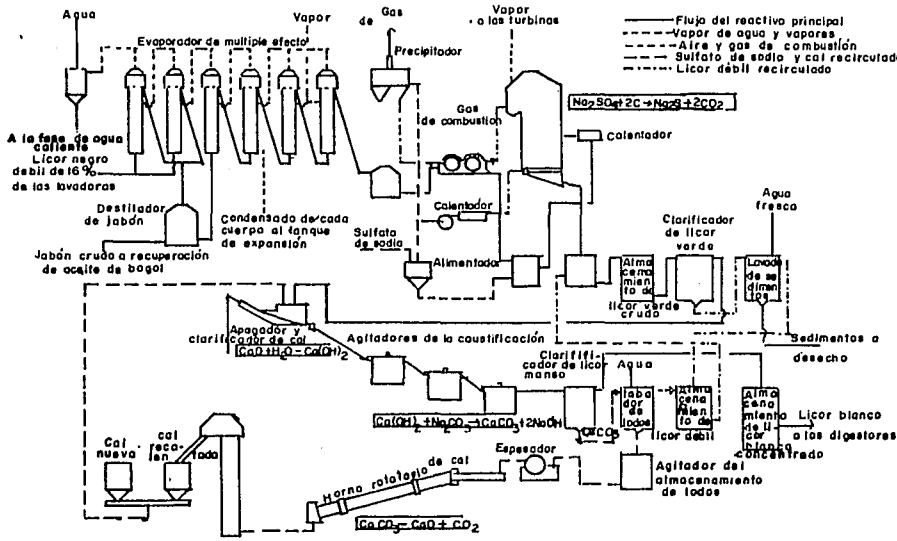


FIG. II. 4. RECUPERACIÓN DE REACTIVOS EN EL PROCESO AL SULFATO

5) Blanqueo de pastas químicas.

Las pastas sin blanquear [Ref.8] producidas por cualquiera de los procesos comunes, contienen lignina residual y materiales colorantes. Las pastas más blancas y estables son producidas mediante un proceso conocido como blanqueo.

Los agentes blanqueadores más importantes son el cloro (C), los hipocloritos (H), el dióxido de cloro (D) y el peróxido de hidrógeno (P), la extracción (E). Estos se aplican comunmente en una o varias secuencias para conservar la sustancia blanqueadora y para minimizar la degradación de la celulosa y otros carbohidratos en la pasta. Generalmente, se incluyen otras etapas intermedias de lavado o extracción alcalina.

En el blanqueo comercial se usan muchas secuencias diferentes, que dependen de las propiedades de la pasta sin blanquear y de las características deseadas en la pasta blanqueada. Para las pastas al sulfito, una secuencia común es CEH, con una etapa final con dióxido de cloro (CEHD) o peróxido de cloro (CEHP), cuando se desea un alto grado de brillantez. Las pastas al sulfato son más difíciles de blanquear, por lo que se requiere un proceso más extenso y de múltiples etapas; algunas secuencias comunes son CEHP, CEHD, CEDED, CEHDED, CEHDP, CEHEDP y CEHDPD.

6) Preparación de pastas químicas especiales.

Para la manufactura de algunas pastas para papel y para la preparación de pastas que van a ser usadas en la obtención de celulosa regenerada y derivados de celulosa, se necesita un blanqueado adicional después de la aplicación del normal. La celulosa química puede prepararse a partir de la pasta al sulfito o al sulfato. Las pasta alfa para papel, se refina por tratamiento con soluciones calientes de sosa cáustica, a temperaturas y concentracione más elevadas que las que se usan para las pastas ordinarias. Para algunos propósitos, las pastas pueden producirse mediante la purificación alcalina de pastas sin blanquear o semiquímicas.

Los usos importantes de las pastas alfa son, para el papel fotográfico, para laminados decorativos, papeles saturados de resina, para papeles filtro, papeles eléctricos y papel imitación pergamino.

Cuando se usa el proceso al sulfato en la preparación de la pasta, se le puede dar a la madera un tratamiento previo de prehidrólisis, con ácido diluído caliente para reducir el contenido de hemicelulosa. También las pastas de fibras de algodón se usan para la conversión química.

Otro proceso para producir pasta química, es el que emplea

como materia prima el bagazo de caña o paja de cereales. En la figura II.5. se da un diagrama de bloques del proceso de producción de esta pasta. La materia se recibe en pacas o a granel; después se pasa a una mezcladora en la que se humedece con agua hasta alcanzar una determinada consistencia. Posteriormente, mediante operaciones de centrifugado y lavado, la médula del bagazo se separa de las fibras de celulosa. Una vez depurada la fibra, se transporta a digestores continuos horizontales, que utilizan como reactivo deslignificante una solución de hidróxido de sodio. La pasta que resulta se conoce como pasta morena. En el caso de que esta pasta requiera ser blanqueada se emplea una secuencia CEH, lo cual significa que esta pasta es más fácil de blanquear que las de madera. Una vez blanqueada, se lamina si va a venderse o se transporta en suspensión al área de preparación de pastas de la fábrica de papel.

II.2.2. ELABORACION DE CELULOSA MECANICA.

El proceso de hacer pasta mecanicamente implica la reducción de la madera a fibras por medios exclusivamente mecánicos, es decir, sin el empleo de reactivos químicos como en los procesos al sulfato, al sulfito o químico-mecánico.

En el molino, los trozos de maderas suaves se forzan contra un medio morturante (una piedra de carburo de silicio), el cual funciona similarmente a una piedra de esmeril. Al girar el medio morturante transforma la madera en sus componentes fibrosos. La pasta así formada es arrastrada fuera del molino por un flujo de agua que es asperjado en la superficie de la piedra y que a su vez, absorbe el calor desprendido por efectos de la fricción. La pasta cruda es depurada en cribas centrífugas y de aquí es enviada a una operación de blanqueo, en donde se trata con una solución de hidrosulfito de cinc. Esta pasta de madera semiblanqueada es empleada fundamentalmente en la elaboración de papel periódico.

Debido a que casi todos los componentes de la madera se encuentran presentes en la pasta mecánica, el rendimiento de madera en rollo por tonelada de pasta cruda seca es muy alto. El consumo de madera es del órden de 2.4 m^3 de madera por tonelada de pasta. Para el proceso Kraft se requieren de 4.5 a 6.0 m^3 de madera por tonelada de pasta cruda seca al aire.

II.2.3. PROCESO QUIMICO-TERMO-MECANICO.

Por lo menos de manera teórica, puede pensarse en la combinación de diferentes métodos químicos y mecánicos para producir materiales fibrosos destinados a la elaboración del papel; se habla entonces de procesos semi-químicos, quimico-mecánicos, etcétera.

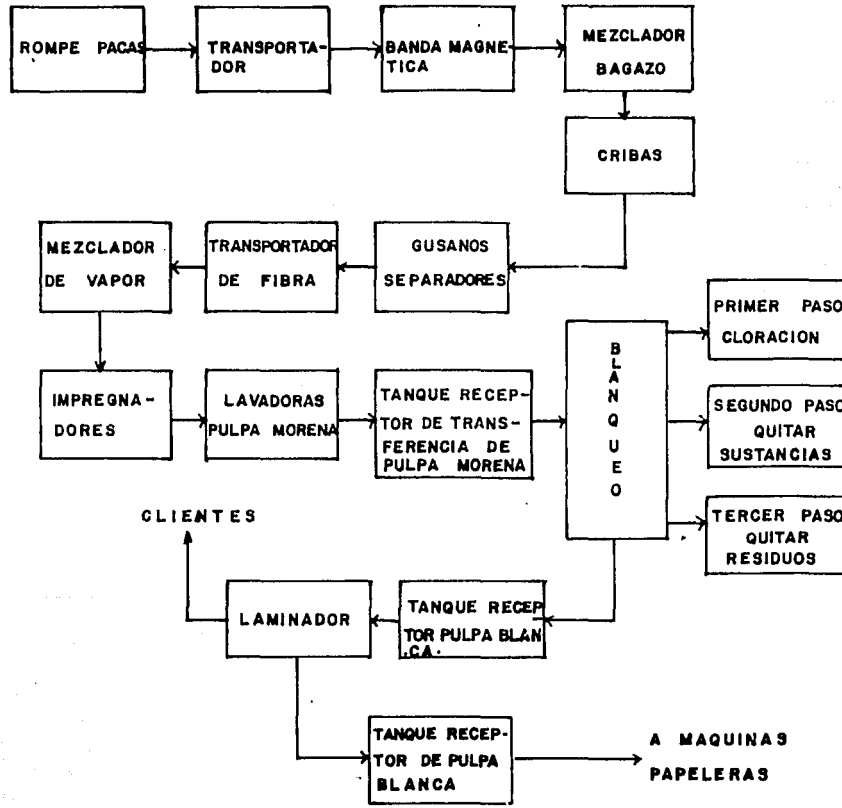


FIG. II.5. ELABORACION DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA

Este proceso ha logrado gran aceptación a nivel internacional, porque con él se obtienen altos rendimientos y pastas de excelente calidad y bajos costos de operación.

El proceso se inicia introduciendo la materia prima, bagazo de caña desmedulado o astillas de madera a una tolva, la cual descarga en un alimentador de tornillo. El alimentador tiene por objeto forzar el material celulósico para que entre por un tubo digestor, el cual se encuentra presurizado , por una adición de sosa y sulfito de sodio, a fin de que a su paso a través del digestor, provoque una delignificación moderada de la madera o del bagazo. La adición simultánea de vapor y reactivos químicos requiere de una menor potencia instalada en la etapa de desfibrado del proceso. La pasta ablandada que sale del digstor es lavada y depurada para desfibrarse en un tándem de refinadoras de doble disco.

II.2.4. OTROS PROCESOS.

Las pastas semiquímicas son producidas por procesos que remueven menos de la lignina que el proceso químico completo. Estos procesos incluyen las pastas semiquímicas neutras de sulfito ya descritas, y a las pastas al sulfato producidas por un proceso menos completo que el normal.

El proceso de pasta a la sosa, en frío, es un proceso semiquímico de pasta proveniente de maderas duras, mediante la maceración de las astillas en una fuerte solución de hidróxido de sodio a temperaturas ordinarias, seguido de una desfibración en un molino de rozamiento. La pasta se puede blanquear con peróxidos o con hidrosulfuros. Las pastas desfibradas están hechas de maderas duras o blandas; se hacen pasar las astillas a través de un desfibrador a altas temperaturas. La producción es del 90 al 95%. Las pastas así elaboradas son usadas en cartones duros, cartones aislantes y fieltros para techos.

La pasta expelida se produce sometiendo las astillas a una alta presión de vapor que se va soltando rapidamente. Las fibras de madera son trituradas para formar un producto café fibroso que retiene la mayor parte de lignina original en una forma modificada. La pasta es usada principalmente en la manufactura de cartones duros.

II.3. PROCESO GENERAL PARA FABRICAR PAPEL.

El proceso de elaboración [Ref.7] de papel tiene lugar en dos etapas principales: preparación de pastas y la formación del papel, propiamente dicha. En la Figura II.6. se muestra la secuencia de fabricación del papel.

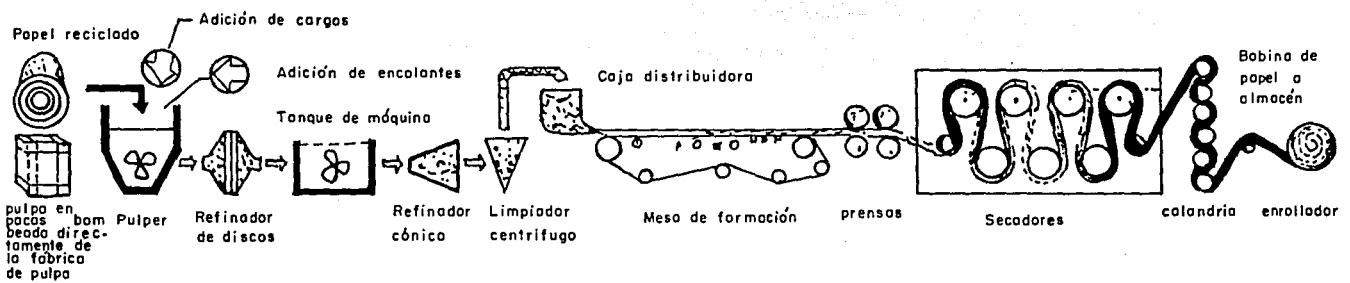


FIG. II. 6. PROCESO SIMPLIFICADO DE ELABORACION DE PAPEL

II.3.1. Preparación de pastas.

En esta etapa tienen lugar las siguientes operaciones: recepción y almacenamiento de materias primas, repulpeo, limpieza y refinación del material celulósico antes de que entre a la máquina formadora de papel.

Materias Primas.

El proceso de fabricación del papel da inicio con la recepción de materias primas. Generalmente, éstas constan de pastas vírgenes de celulosa, fibras secundarias, encolantes y cargas.

Otra materia prima básica para la fabricación del papel son los encolantes. La adición de estos compuestos tiene la finalidad de otorgar al papel propiedades hidrofugas, aumentar su resistencia a la tensión, al doblez, a la explosión y, junto con las cargas, propiciar la formación de una superficie que sea adecuada a la escritura e impresión. Entre los encolados más usuales se encuentran las breas de colofonia, los almidones modificados, la carboximetilcelulosa, la caseína y, recientemente, las resinas sintéticas de urea-formaldehído o de melamina-formaldehído.

Las cargas, por su parte, son materias de relleno, cuya función es la de ocluir los huecos que de manera natural se originan al momento de unirse las fibras de celulosa en la sección de formación del papel. Las cargas más usuales son los silicatos, como el caolín, el talco y las asbestinas; el carbonato de calcio y el de magnesia; el dióxido de titanio; las tierras diatomáceas y, entre las más apreciadas, el sulfuro de cinc y el litopón.

II.3.2. Reelaboración de la pulpa o repulpeo.

La operación de repulpeo da inicio con la adición de las cantidades necesarias de fibras celulósicas y su depósito en los reelaboradores de pulpa hidráulicos de la fábrica. Esta operación es imprescindible en las papeleras no integradas o en las que utilizan papel de reciclaje. Todo material celulósico que se recibe en forma seca se convierte en una suspensión fibrosa o pasta mediante la adición de agua en el humectador de pulpa o molino. Este dispositivo consiste en un recipiente metálico de forma cilíndrica vertical en cuyo fondo se encuentra un rotor acoplado a un motor eléctrico.

Además, durante la operación de repulpeo se agregan los polvos minerales y se realiza un encolado interno de las fibras, el cual se efectúa agregando breas de colofonia saponificada y alumbre como dispersante.

II.3.3. Refinación.

Las fibras de celulosa que salen del paso de depuración son inapropiadas para la manufactura del papel, por lo que se someten a un tratamiento de modificación superficial, la cual se realiza al pasar por batidores o refinadores.

Durante la refinación, las fibras de celulosa se separan e hidratan a plenitud, se fibrilan y cortan aprovechando que ya se encuentran hinchadas, debido a la absorción de humedad, esto las hace flexibles y manejables.

Los papeles hechos de pasta poco refinada son de baja densidad, suaves y porosos, en cambio los que son sometidos a alta refinación son densos, duros y mucho más resistentes.

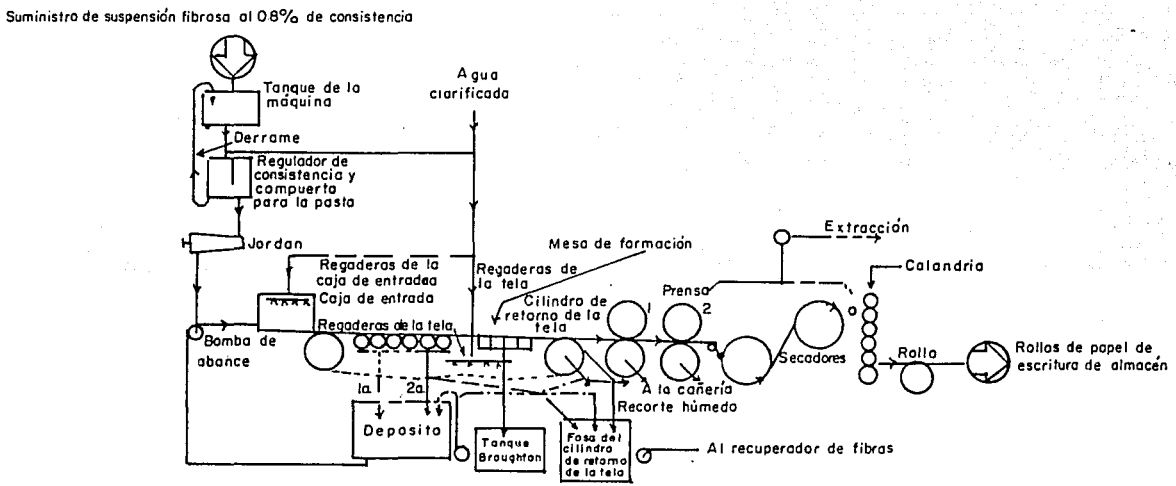
II.3.4. Formación del papel.

Las máquinas de elaborar papel en forma continua convierten una suspensión fibrosa muy diluída en una hoja seca de papel a velocidad elevada. La máquina Fourdrinier o de mesa plana consiste basicamente en una malla sin fin, la cual se desplaza a velocidades que oscilan desde una decena de metros por minuto hasta cerca de 1,500 metros por minuto.

En uno de los extremos de la malla se deposita, en régimen laminar, la suspensión fibrosa, que previamente se ha vuelto a refinar, depurar y diluir hasta alcanzar una consistencia de aproximadamente 0.8%. Según va avanzando la suspensión a través de la máquina va perdiendo humedad y da paso, al mismo tiempo, al entrelazamiento de las fibras para formar la hoja de papel. La operación de deshidratación se realiza cuando la malla pasa sobre cajas de succión y rodillos de mesa, ubicados en la sección de formación de la máquina (Figura II.7.).

En el extremo opuesto de la malla se obtiene una hoja de papel todavía muy húmeda a 20% de consistencia aproximadamente, por lo que a través de un transportador de fieltro de lana se conduce a varios juegos de prensas en donde pierde más humedad, también en forma mecánica.

Es importante hacer notar que la mayoría de las medidas de ahorro de energía para la manufactura de papel se han enfocado a la optimización del prensado, tomando en cuenta que la forma más sencilla y económica de eliminar la humedad es mecánicamente. De acuerdo con la práctica se sabe que por cada 1% de reducción de humedad en la sección de prensado se obtendrá un incremento del 4% en la capacidad evaporativa del tren de secado de la máquina de papel, etapa posterior a la de prensado.



b). Para elaborar papel Tissue

Máquina Fourdrinier acoplada a secador Yankee. **A**, fieltro levantador con succión; **B**, cilindro despegador con succion; **C**, prensa húmeda; **D**, cilindro de presión; **E**, secador Yankee; **F**, cuchilla crepadora; **G**, cuchilla limpiadora; **H**, calandria **I**, fieltro inferior y **J**, rollo de papel.

FIG. II. 7. DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DE MAQUINA **FOURDRINIER** PARA ELABORAR PAPEL DE ESCRITURA , **TISSUE** , SANITARIO Y FACIAL

Por lo anterior, dependiendo del diseño de las prensas, la hoja se entrega a los secadores de la máquina con una consistencia entre 33 y 48%.

El arreglo del tren de secado estará de acuerdo con el gramaje del papel; por ejemplo, si la máquina maneja gramajes medios y altos, el tren debe consistir en una serie de cilíndros giratorios calentados internamente con vapor. Estos cilíndros están provistos de fieltros o lanas que conducen y mantienen las dos caras en estrecho contacto con la superficie de calentamiento con lo que mejora notablemente la transferencia de calor. Cuando se manejan gramajes bajos de papel, como por ejemplo, en los higiénicos y faciales, se aplica un sólo tambor rotatorio cuya dimensión es notablemente superior a los instalados para la deshidratación de papeles de escritura, impresión y empaque.

La máquina cilíndrica constituye otro aparato para la conformación del papel. Esta máquina difiere de la Fourdrinier únicamente en la sección de formación de la hoja. Aquí, en vez de una malla continúa, se utiliza una serie de fieltros cilíndricos que giran a velocidades cercanas a los 125 metros por minuto, y cuyo diámetro es inferior a 91 centímetros. Cada cilíndro se encuentra parcialmente sumergido en una tina a la cual llega la suspensión fibrosa diluída.

El agua se va drenando, conforme gira el cilíndro, através del fieltro; así se logra al mismo tiempo la formación de una delgada capa de papel en la periferia (Figura II.7.). Al llegar la parte superior del cilíndro, el pliego es separado y adherido a una lona que circula a todo lo largo de la sección de formación de la máquina.

En cada uno de los demás cilíndros tiene lugar un efecto semejante; al final de la operación se obtiene una hoja de elevado gramaje, la cual se forma por la adición sucesiva de capas de fibras. La máquina cilíndrica se utiliza fundamentalemente en la manufactura de papeles de empaque.

II.3.5. Calandreado o laminado.

El tratamiento conocido como calandreado [Ref.8 y 9] o laminado incrementa la suavidad y el brillo de la superficie de papel. Un laminador consta de dos o más rodillos de fundición con superficies endurecidas, que están arreglados en pila y permanecen verticalmente uno en el otro, al final de la sección de secado en la máquina de hacer papel. Casi todo el papel es pasado a través de un laminador como parte de la manufactura. Si la hoja es pasada entre diferentes rodillos a distintas velocidades periféricas, se produce un terminado alto o vidriado. Un superlaminador es aquel que está construído con rodillos alternos de fundición templada y rodillos suaves hechos de algodón o papel altamente comprimido. Esto no es una parte

integral de la máquina de papel, pero es usado en una operación por separado.

El superlaminado altera la apariencia y las propiedades superficiales del papel. Los efectos adquiridos están influenciados por la temperatura y la humedad que tiene el papel durante el proceso.

II.3.6. Marcas de agua.

Una marca de agua es producida en los papeles hechos a mano mediante la formación de un diseño no permeable en la criba de alambre. Cuando se conforma la hoja, la pasta es adelgazada en las áreas impuestas por el diseño. Una marca de agua puede hacerse aparecer en graduaciones de luz y sombra, si en la criba están impresos diseños deprimidos o realzados. La marcación con agua del papel se completa con un rodillo "dandy" o de excelete calidad, que tiene un patrón de realce que corresponde a la marca de agua deseada.

II.3.7. Engomado, pesaje y coloreado.

Para obtener los requerimientos impuestos por los usos específicos finales, la manufactura de papel requiere adicionar uno o varios materiales a las fibras celulósicas.

La resistencia a la penetración del agua y de la tinta es proporcionada por materiales de engomado, particularmente la resina, la cual se añade al stock antes de que el papel sea formado en la máquina. Este proceso se le llamó encolado de batidora o de motor, pero ahora se le conoce como engomado "interno" en contraste con engomado "superficial".

El peso del papel se completa por adición de pigmentos inorgánicos blancos o llenadores. La caliza y el carburo de calcio se usan en gran cantidad. Los pigmentos son introducidos en los papeles destinados a la impresión, en los cuales incrementan la opacidad y desarrollan la calidad de la impresión.

El papel es coloreado por la adición de tintes sintéticos o pigmentos colorantes.

II.3.8. Recubrimientos.

Se reconocen dos importantes clases de recubrimientos: para impresión y para aislamiento. El revestimiento de los papeles para impresión desarrolla la suavidad y la calidad de la superficie de impresión, también se incrementa la opacidad de las hojas. Cerca de la mitad de los papeles para impresión usados hoy día están recubiertos. El recubrimiento está compuesto por un pigmento y componente que es conocido como pegamento o adhesivo.

Los recubrimientos más comunes son la caliza, el carbonato de calcio, el dióxido de titanio, el talco, el calcio precipitado y el sulfato de bario. Los adhesivos más comunes son la caseína y el almidón; este último se usa en mayor volumen.

II.3.9. Propiedades de la hoja de papel.

Las propiedades mensurables de una hoja incluyen la resistencia y las propiedades ópticas. Las propiedades más importantes son la resistencia a la tensión, la dureza al doblado y la resistencia al desgarre.

Las propiedades del papel están determinadas por tres factores interrelacionados: la naturaleza de las fibras, el proceso por el cual las fibras son sometidas en presencia de agua y la manera de formación y secado de la hoja. Los recubrimientos y otros tratamientos causan también cambios en las propiedades del papel. Las propiedades ópticas incluyen opacidad, blancura y brillantez.

Cada hoja de papel que se elabora debe tener un determinado espesor y un peso básico (peso por área específica). En Estados Unidos, el peso básico se expresa en libras por una pila de papel (de 480 a 500 láminas), cortadas a un tamaño específico. Para papeles de escritura el peso básico de 500 hojas de 17 X 22 pulgadas se le llama "número substancial" o "substancia". El peso básico de cartones se expresa en libras por 1000 pies cuadrados. En Europa y Latinoamérica se expresa en gramos por metro cuadrado.

II.3.10. Cartones.

Los cartones se usan principalmente para envases y como materiales de construcción. Los envases de papel y cartón se clasifican en rígidos y flexibles. Los primeros son de cuatro tipos:

a) cartones plegadizos,
b) cajas corrugadas y fibras sólidas,
c) cajas rígidas para uso de latería, zapatería y artículos similares, y
d) latas y tubos de fibra.

El papel y cartón para constucción incluye una gran variedad de productos. El papel para cubiertas es comunmente bien engomado y, a menudo, es impregnado o laminado con asfalto. Los cartones-tabla son pesados y están bien encolados para preservar la sequedad y la resistencia; éstos son tratados con substancias químicas para repeler a los insectos y gusanos, y para retrasar la formación de moho y el ataque del fuego.

II.3.11. Análisis químico del papel.

Las secciones previas han enfatizado que el papel es basicamente una hoja de fibras de celulosa pero que puede agregarse cualquier otra variedad de materiales para proporcionar las carcterísticas requeridas para usos especiales. Consecuentemente, su análisis químico involucra la detección de varios materiales no fibrosos agregados intencionalmente o presentes como impurezas.

La amplia variedad de agentes empleados para engomar, aumentar el peso, colorear, recubrir, impregnar o laminar, que se añaden al papel o se combinan con él, requiere que el análisis haga uso de una amplia variedad de métodos analíticos. A menudo, no se dispone de los métodos más satisfactorios y el analista debe ejercer un considerable ingenio en su trabajo para determinar ciertos componentes.

Frecuentemente se piensa elaborar un papel con algunas propiedades no comunes y se llama a alguien capacitado para determinar si en efecto se le agregó alguna substancia que contribuya a darle las propiedades deseadas. Las compilaciones de métodos analíticos más extensas son la ASTM estándar. Varias asociaciones técnicas e industriales en todo el mundo han establecido patrones estándares en el análisis del papel y sus derivados.

II.4. CONSUMO DE ENERGIA EN LOS DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCION DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.

II.4.1. Consumo Específico de Energía en la Elaboración de la Celulosa y del Papel en los Países Desarrollados.

El sector de elaboración de la pasta y del papel se clasifica dentro de los grandes consumidores de energía. En los países industrializados miembros de la OCDE, esta industria es considerada como la cuarta consumidora de energía, después de la siderúrgica, química y petroquímica.

El consumo de energía en empresas de este sector representaba en la década de los 80, entre el 15 y 20% del costo total de los productos que fabricaban; a la electricidad correspondía aproximadamente la tercera parte de ese valor.

Para los países miembros de la OCDE, el consumo específico de energía registrado en 1985 fue de aproximadamente 0.43 TEP (toneladas de petróleo crudo equivalente), por tonelada de papel producido; esta cifra incluye todos los tipos de energía empleados.

Existen marcadas diferencias entre países y entre una industria y otra, que se derivan de su estructura de producción: celulosa o papel únicamente; celulosa y papel simultaneamente (plantas integradas), tipos de papel que elaboran, técnicas de fabricación, capacidad de la planta y grado de utilización, entre otras.

Al calcular los consumos específicos de energía en la industria del papel es muy importante tomar en cuenta el grado de independencia en el abasto de celulosa, pues en los cálculos de tales consumos se contabiliza también la parte de energía empleada en la producción de celulosa. Debido a lo anterior, un país que tenga un mayor grado de independencia en el suministro de celulosa (porque la produce él mismo), parecería tener mayores consumos específicos de energía; esto puede observarse en el Cuadro II.3. Se concluye que existe una correlación directamente proporcional entre el grado de independecia en el suministro de celulosa y el consumo específico de energía. Los países exportadores de celulosa, como Suecia, Canadá y Finlandia tienen mayores consumos específicos que los países que la importan, como Japón, Francia, Alemania e Italia.

En ese mismo año, México tuvo un grado de independencia en el suministro de la celulosa del 83% y un consumo específico de energía de 0.45 TEP/tonelada de papel, que comparativamente lo podrían situar a la altura de Japón, aunque este país registra un consumo específico de energía 16% menor al nacional.

CUADRO II.3.
COMPARACION ENTRE EL GRADO DE INDEPENDENCIA EN EL SUMINISTRO DE CELULOSA Y EL CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA (1985).

PAIS	GRADO DE INDEPENDENCIA EL SUMINISTRO DE CELULOSA	CONSUMO ESPECIFICO (TEP/TON PAPEL)
Suecia	152.1	0.63
Canadá	152.3	0.58
Finlandia	126.5	0.55
Estados Unidos	99.4	0.43
Alemania Federal	44.0	0.39
Japón	80.7	0.38
Francia	57.1	0.36
Italia	39.4	0.34

FUENTE: Consumo de energía en la industria. SEMIP, 1988.

Los consumos máximos y mínimos de electricidad y vapor para los distintos papeles elaborados en los países de la Comunidad Económica Europea se muestran en el Cuadro II.4. Las elevadas diferencias observadas se deben al nivel de la tecnología empleada. En México, estas diferencias son del órden de 1 a 10, aunque llegan a alcanzar diferencias entre 1 y 160, debido a la coexistencia de equipos sumamente antiguos o de muy baja capacidad con otros muy modernos dotados de avanzadas tecnologías. Este hecho se muestra en el Cuadro II.5.

De los datos anteriores se puede concluir que no existe un patrón estándar que se pueda aplicar a todas las plantas de papel, sin embargo, sí es posible elaborar indicadores del consumo específico por planta y vigilar su evolución interna, como resultado de la aplicación de programas y medidas de eficientización energética.

CUADRO II.4.
CONSUMOS DE ENERGIA POR TIPO DE PAPEL ELABORADO EN LA CEE.

TIPO DE PAPEL	CONSUMO DE ELECTRICIDAD (KWH/TONELADA)	CONSUMO DE VAPOR (GCAL/TONELADA)
Impresión	333 - 2055	0.976 - 8.718
Embalaje	220 - 2360	1.720 - 4.920
Especiales	420 - 1500	3.224 - 3.845
Cartón	110 - 940	1.099 - 3.606

FUENTE: Consumo de energía en la industria. SEMIP, 1988.

CUADRO II.5.
CONSUMO DE ENERGIA POR TIPO DE PAPEL ELABORADO EN MEXICO.

TIPO DE PAPEL	MINIMO	MEDIO (KGAL/TONELADA)	MAXIMO
Cartón	0.121	1.199	19.453
Bond	1.501	1.552	48.100
Industrial	2.795	14.039	37.944
Semi-kraft	3.609	5.980	7.557
Bristol	0.847	28.258	14.726
Periódico	3.045	22.874	9.474

FUENTE: Consumo de energía en la industria. SEMIP, 1988.

II.4.2. Consumo de energía en la industria de la celulosa y del papel en México.

La rama de la celulosa y del papel tiene una factura energética que representa el 3.6% del valor su producción; este nivel es bastante bajo en comparación con otros tipos de industria. Conviene aclarar que en el consumo anterior no se incluye el licor negro, que se genera en el mismo proceso y que representa el 20% del consumo de la rama, ni la electricidad cogenerada.

En cuanto a la aportación de calor, la energía comprada se compuso de 10% de electricidad y 90% de combustibles; de los cuales, 47% correspondió a combustóleo y 43% a gas natural. En los consumos totales, la electricidad alcanza el 30% debido a la aportación de la cogeneración. En México, esta rama industrial es la que más electricidad cogenera con relación a la que consume, aunque aún está lejos de alcanzar los niveles que se observan internacionalmente. Es evidente que el potencial que ofrece esta rama industrial para cogenerar más electricidad es importante, pues aunque hay instalaciones practicamente autosuficientes, otras son completamente dependientes.

En la fabricación de celulosa los consumos específicos más bajos responden a las plantas que parten de papel usado; éste es de aproximadamente 1,000 kcal/kg de celulosa producida. Sin embargo, los fabricantes de celulosas especiales llegan a tener consumos que alcanzan hasta 13,000 kcal/kg.

El consumo de energía para la producción de papel depende del tipo de que se trate; el del papel periódico es el que requiere el consumo más bajo, del órden de 3,000 kcal/kg. El papel kraft o de envoltura, de mayor producción tiene consumos entre 2,700 y 4,700 Kcal/kg. El consumo de energía en la producción de papeles industriales sube al rango de 4,000 a 9,000

kcal/kg. Una excepción a esto la constituye una planta que produce 80,000 toneladas anuales y que tiene seis años de antiguedad, pues su consumo de energía es de 3,000 kcal/kg para papeles industriales.

Datos de consumos de insumos y energia en la elaboración de celulosa y papel, mediante diferentes procesos.

1)Celulosa al sulfato.

En este proceso se requieren los siguientes insumos/ton de celulosa seca.

2.4	ton de madera.
147	kgs de cal.
203	kgs de sal.
4,530	kgs de vapor.
250	KWH de electricidad.
5	horas-hombre de labor diaria.

2)Consumos en el blanqueo de una pulpa al sulfato por el proceso Kraft.

87-91	kgs de cloro para el pino.
63-82	kgs de cloro para el abeto.
18	kgs de sosa caústica.
227,966	lt de agua.
1,414	kgs de vapor.
2	obreros por turno para trabajo humano directo.

3)Celulosa al sulfito.

Los consumos de insumos que se requieren en este proceso/ton de pulpa seca, son los siguientes:

1.7-2.2	tons de madera.
100-136	kgs de azufre.
118-168	kgs de piedra caliza.
68 -95	kgs de cal.
1812-3398	kgs de vapor.
410	KWH de electricidad.
49	horas-hombre de trabajo directo.

En general el consumo específico de energía tanto térmica como eléctrica en los procesos de elaboración de celulosa o de papel varían de acuerdo al proceso utilizado, y según el tipo de papel o producto elaborado. Esto puede verse con bastante claridad en algunos cuadros de este mismo capitulo, que resumen parte de una encuesa realizada por PEMEX y el IMP a 26 plantas de la ICP mexicana en 1984.

En esos cuadros puede verse como algunos tipos de papel requieren más energía térmica que eléctrica, o a la inversa, pero finalmente lo que queda claro es que entre mayor grado de elaboración presenta un tipo de papel, mayor es su consumo específico de energía; y por lo que se refiere a la elaboración

de pulpa, en general la pulpa mecánica requiere más energía específica que la pulpa al sulfato y ésta más que la celulosa de bagazo de caña, además consume más energía específica una celulosa blanqueada que una sin blanquear.

Los datos anteriores ponen de manifiesto que en esta industria es muy grande el potencial de ahorro de energía, dadas las grandes disparidades en el consumo de energía de una planta a otra y las posibilidades de ampliar la cogeneración y la producción de vapor tanto para usos en el proceso como para la generación de electricidad.

La ICP disminuyó su consumo de energía en 4.3 %, al pasar de 11.7 billones de calorías en 1987, a 11.2 billones de calorías en 1988. Esta rama participó con 4.2 % de la energía consumida por el sector industrial en su conjunto [Ref.6].

Por tipo energético, el combustóleo representó la mayor parte con 48.8% del total, equivalente a 5.5 billones de kilocalorías. El gas natural participó con 39.1%, la electricidad con el 11.5% y el diesel con el 0.6% restante. El consumo de combustóleo significó el 8.6% de los requerimientos industriales del país y 2.1 % del consumo nacional de este producto.

Para producir las 3.4 millones de toneladas de celulosa y papel se requirieron 3.3 millones de kilocalorías por tonelada, cifra 5.7% inferior a la alcanzada el año anterior.

En este apartado se dan a conocer algunos de los resultados de la encuesta sobre consumo de energía que realizaron PEMEX y el Instituto Mexicano del Petróleo en 1983-1984 [Ref.7]. Dicha encuesta tuvo una cobertura de 26 empresas del sector de la ICP, las cuales representan 73 y 71% de la producción de la celulosa y papel, respectivamente, en 1982.

El Cuadro II.6. muestra en forma resumida la información global de las industrias de ICP, con datos como ventas, consumo de energía, indicadores globales, combustibles, etc.

En el Cuadro II.7. se indican el orígen y el valor de la energía consumida en la ICP, donde se observa que la mayor parte de la energía es comprada y que de ésta, el mayor consumo corresponde a los combustibles como combustóleo y gas natural, y la menor parte es de consumo de electricidad. El porcentaje de electricidad en relación a toda la energía consumida es de alrededor de 28%.

El Cuadro II.8. señala el destino de los combustibles en las ICP, se aprecia que la mayor parte va a la producción de vapor para proceso.

CUADRO II.6.
INFORMACION GLOBAL DE LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

CONCEPTO		UNIDADES	CANTIDAD
Producción	Valor	10^6 pesos	57,676.46
	Utilización de la planta	%	69.57
	Energía/producción	%	3.61
Ventas	Valor	10^6 pesos	54,444.47
Empleo	Obreros	número	15,498
	Empleados	número	4,351
	Total	número	19,849
	Horas-hombre laboradas	10^6 horas	36.18
Consumo de energía	Volumen	10^9 kcal	11,521.89
	Valor	10^6 pesos	1,901.90
	Volumen/valor (1)	kcal/peso	5,339.97
	Consumo potencial	10^9 kcal	16,560.57
Indicadores Globales	Energía total/ventas	kcal/peso	211.61
	comprada/ventas	kcal/peso	186.54
	autogenerada/ventas	kcal/peso	40.25
	Energía/obrero	kcal/obrero	743.40
	Energía/hora-hombre	kcal/h-h	318.44
	Mecanización	KWH/obrero	82,281.49
Autonomía	Energía comprada/total	%	88.15
	autogenerada/total (2)	%	11.85
	autogenerada/comprada	%	21.58
Combustibles	autogenerados/comprados	%	18.61
Electricidad	autogenerada/comprada	%	29.30

(1) Incluye sólo la energía comprada.
(2) Incluye sólo combustibles autogenerados.

FUENTE: Encuesta del IMP-PEMEX. 1982.

CUADRO II.7.
ORIGEN Y VALOR DE LA ENERGIA CONSUMIDA
EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

	CONCEPTO	UNIDADES	CANTIDAD
Energía comprada	Gas natural	10^9 kcal	2,409.65
	Gas licuado	"	23.12
	Combustóleo	"	4,885.36
	Diesel	"	15,62
	Coque de carbón	"	0.54
	Energía eléctrica	"	2,820.57
	Otros	"	1.23
	Total	"	10,156.09
Energía autogenerada	Combustibles	"	1,365.10
	Electricidad	"	826.50
	Total	"	2,191.60
Consumo total de energía	/1	"	12,347.69
Estructura de consumo	Gas natural	%	20.92
	Gas licuado	"	0.20
	Combustóleo	"	42.41
	Diesel	"	0.14
	Coque de carbón	"	0.00
	Energía eléctrica	"	24.48
	Otros	"	0.01
	Combustibles autogenerados	"	11.85
	Total	"	100.00
Costo de la energía	Gas natural	10^6 pesos	247.07
	Gas licuado	"	4.75
	Combustóleo	"	365.44
	Diesel	"	5.31
	Coque de carbón	"	0.22
	Energía eléctrica	"	1,279.01
	Otros	"	0.10
	Combustibles autogenerados	"	155.55
	Electricidad autogenerada	"	369.26
	Total comprada	"	1,901.90
	Total autogenerada	"	524.81
Costo total de la energía		"	2,426.71

/1 = Energía comprada más combustibles autogenerados.

FUENTE: Encuesta del IMP-PEMEX, 1982.

CUADRO II.8.
DESTINO DE LOS COMBUSTIBLES Y DEL VAPOR GENERADO EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (ENCUESTA IMP-PEMEX)

	CONCEPTO	UNIDADES	CANTIDAD
Uso directo en la producción	Gas natural	10^9 kcal	78.76
	Gas licuado	"	22.95
	Combustóleo	"	220.24
	Diesel	"	1.14
	Coque de carbón	"	0.54
	Autogenerados	"	0.00
	Otros	"	1.23
	Total	"	324.86
Generación directa de electricidad	Gas natural	10^9 kcal	0.00
	Gas licuado	"	0.00
	Combustóleo	"	0.00
	Diesel	"	1.78
	Coque de carbón	"	0.00
	Autogenerados	"	0.00
	Otros	"	0.00
	Total	"	1.78
Generación de vapor	Gas natural	10^9 kcal	2,330.88
	Gas licuado	"	0.17
	Combustóleo	"	4,665.12
	Diesel	"	1.45
	Coque de carbón	"	0.00
	Autogenerados	"	1,365.10
	Otros	"	0.00
	Total	"	8,362.72
Otros usos	Total	10^9 kcal	11.25
Destino del vapor (1)			
Para unidades productivas		10^9 kcal	3,765.30
- Por alimentación directa		"	3,543.10
- Por medio de vapor de extracción		"	221.89
Para generar energía eléctrica		10^9 kcal	2,696.37

(1) No se incluyen servicios secundarios (baños, cocinas, etcétera).

El cuadro II.9. señala el consumo total de energía de las 26 industrias estudiadas. Se observa la amplísima gama de consumos de combustibles y electricidad, así como el porcentaje que esto representa. En promedio global se observa que tres cuartas partes corresponden a combustible y una a electricidad.

El cuadro II.10. es un intento de cuantificar los índices energéticos de las 26 empresas estudiadas. Debido a la gran diferencia de tamaños y operaciones se observan valores unitarios muy diversos,pues van desde alrededor de 600,00 Kcal/ton de producto hasta más de 30 millones de Kcal/ton, es decir superior en más de 50 veces. En general, los valores más altos corresponden a empresas con producción de papel y celulosa. Aunque plantas exclusivamente productoras de papel también tienen consumos muy altos.

El Cuadro II.11. muestra el costo y consumo de la energía eléctrica en las ICP, hace una comparación entre la que se compra y la que se autogenera. Salta a la vista que la mayor parte de la electricidad que consumen estas industrias es comprada (77.3%) y solamente un pequeño porcentaje es generado en las plantas (22.7%).

El costo de la energía consumida por cada mil pesos de ventas o Kcal/$ vendido es un buen indicador de la eficiencia de las empresas del ramo. En el Cuadro II.12, se puede ver una gran disparidad, ya que los datos van desde un consumo mínimo de 0.766 pesos de energía por mil pesos de ventas y 10.815 kcal/$ de ventas, hasta 240 pesos por mil pesos vendidos y 1,553.5 kcal/$ de ventas. El promedio se sitúa en 39.176 pesos por mil pesos de ventas, con un consumo de energía de 207.93 kcal por peso de ventas. Esta disparidad es lógica y se debe a que en la ICP coexisten plantas con maquinaria vieja y obsoleta con plantas cuyas tecnologías son muy avanzadas, así como procesos muy diversos.

La potencia total de generación en la ICP mexicana en 1982 ascendió a 95 MW que generaron casi 289,000 MWH, es decir se tuvo un factor de planta promedio del 34.8% (Cuadro II.13).

Además los generadores de electricidad a base de vapor en la ICP, sumaban en 1982 un total de 155, de los cuales 22 eran de 1932, 26 de 1948, y 37 de 1950; o sea que aproximadamente el 65% del total tiene en la actualidad más de 50 años operando, y otro 25% tiene entre 20 y 25 años, por lo tanto esto nos indica que el grado de obsolescencia del equipo para generar electricidad en las plantas de la ICP en México es muy alto. Por esa razón es necesario cambiar esos equipos por otros más modernos.

Los Cuadros II.14. y II.15. muestran el consumo energético unitario según el tipo de papel o de celulosa producido. Se observa que la fabricación de papel resultó bastante homogénea en

CUADRO II.9.
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (1982)
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

PLANTA	COMBUSTIBLES HIDROCARBUROS (10^9 KCAL)	LICOR NEGRO (10^9 KCAL)	%	ELECTRICIDAD COMPRADA (1) (10^9 KCAL)	%	TOTAL (10^9 KCAL)
1	38,939	-	67.9	18.378	32.1	57.317
2	235.544	-	72.8	88.082	27.2	323.631
3	199.623	-	54.5	166.587	45.5	366.210
4	66.661	-	51.2	63.657	48.8	130.818
5	256.747	-	100.0	-	-	256.747
6	101.080	58.575	91.0	15.776	9.0	175.431
7	156.980	-	76.7	47.670	23.3	204.650
8	80.259	-	50.8	77.876	49.2	158.135
9	288.020	-	47.0	325.140	53.0	613.160
10	109.941	-	47.7	120.663	52.3	230.604
11	569.542	380.664	98.6	13.100	1.4	963.306
12	561.739	-	100.0	-	-	561.739
13	240.803	-	97.4	6.541	2.6	247.344
14	281.140	777.949	87.2	155.303	12.8	1,214.392
15	143.890	-	36.7	247.913	63.3	391.803
16	614.960	0.060(2)	89.2	74.112	10.8	689.078
17	153.786	-	52.3	140.093	47.7	293.879
18	13.628	-	67.0	6.727	33.0	20.355
19	114.776	-	54.1	97.320	45.9	212.096
20	976.403	0.481(2)	67.4	471.431	32.6	1,448.315
21	190.954	-	47.4	212.203	52.6	403.157
22	1,402.660	147.911	87.3	226.054	12.7	1,776.625
23	243.359	-	65.0	130.802	35.0	374.161
24	83.097	-	80.6	19.946	19.4	103.043
25	0.011	-	-	82.824	100.0	82.835
26	210.216	-	94.4	12.372	5.6	222.588
TOTAL	7,334.978	1,365.640	75.5	2,820.570	24.5	11,521.134

(1) 2860 KCAL/KWH.
(2) Consumos reportados de coque de carbón.

CUADRO II.10.
CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA POR UNIDAD DE PRODUCTO
EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (1982)
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

PLANTA	PRODUCTOS				CONSUMOS DE ENERGIA		
	CELULOSA (%)	PAPEL (%)	CARTON (%)	TOTAL (%)	COMBUSTIBLES (KCAL/TON)	ELECTRICIDAD (1) (KCAL/TON)	TOTAL (KCAL/TON)
1	-	21.5	78.5	100.0	831,301	392,349	1,223,650
2	-	100.0	-	100.0	14,702,203	5,497,909	20,000,112
3	-	100.0	-	100.0	2,359,917	1,969,370	4,329,287
4	-	100.0	-	100.0	1,700,059	1,623,448	3,323,507
5	-	100.0	-	100.0	9,230,191	-	9,230,191
6	-	100.0	-	100.0	28,839,415	2,849,711	31,689,126
7	-	100.0	-	100.0	3,641,129	1,105,699	4,746,828
8	-	100.0	-	100.0	4,224,158	4,098,737	8,322,895
9 (2)	49.6	50.4	-	100.0	1,229,413	1,466,881	2,755,294
10	-	100.0	-	100.0	1,063,979	1,167,744	2,231,723
11 (3)	50.2	47.8	-	100.0	4,201,514	57,924	4,259,438
12 (3)	100.0	-	-	100.0	18,802,979	-	18,802,979
13	-	100.0	-	100.0	1,574,401	42,766	1,617,167
14	74.5	25.5	-	100.0	12,810,114	1,878,453	14,688,567
15	-	100.0	-	100.0	2,328,317	4,011,537	6,339,854
16	41.4	58.6	-	100.0	7,786,055	938,329	8,724,384
17	-	100.0	-	100.0	1,593,637	1,451,741	3,045,378
18	-	-	100.0	100.0	419,323	206,985	626,308
19	29.4	70.6	-	100.0	1,082,558	917,914	2,000,472
20	39.2	60.8	-	100.0	3,856,141	1,860,922	5,717,063
21	-	100.0	-	100.0	1,259,591	1,399,756	2,659,347
22	36.3	63.7	-	100.0	17,836,802	2,913,834	20,437,186
23	-	100.0	-	100.0	5,421,230	2,913,834	8,335,064
24	100.0	-	-	100.0	5,224,912	1,254,150	6,479,062
25	60.2(4)	39.6(5)	-	100.0	401,000	3,022,774	3,423,774
26 (6)	100.0	-	-	100.0	13,185,473	776,015	13,961,488
Promedio	**26.3**	**70.4**	**3.3**	**100.0**			

(1) Se refiere a electricidad comprada (2860 kcal/KWH).
(2) Esta planta produce sosa cáustica para sus procesos.
(3) Esta planta produce óxido de calcio para sus procesos y recupera Tall Oil.
(4) Se refiere a viscosa.
(5) Se refiere a papel celofán.
(6) Se produce cal viva para proceso y se recupera aguarrás. La producción de celulosa incluye 14% de fibra secundaria.

CUADRO II.11.
CONSUMO Y VALOR DE LA ENERGIA ELECTRICA Y AUTOGENERADA EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (1982) (ENCUESTA IMP-PEMEX)

	COMPRADA VOLUMEN (10^3KWH)	COMPRADA VALOR (10^3 \$)	PRECIO MEDIO (\$/KWH)	AUTOGENERADA VOLUMEN (10^3KWH)	AUTOGENERADA VALOR (10^3 \$)	TOTAL VOLUMEN (10^3KWH)	TOTAL VALOR (10^3 \$)	TARIFA	ESTRUCTURA PORCENTUAL (COMP.)	ESTRUCTURA PORCENTUAL (AUTO.)
1	6,426	8,839	1.38	-	-	6,426	8,839	8	100.0	-
2	30,798	30,989	1.01	-	-	30,798	30,989	8	100.0	-
3	58,247	63,899	1.10	-	-	58,247	63,899	12	100.0	-
4	22,257	26,447	1.19	-	-	22,257	26,447	12	100.0	
5	-	-	-	21,195	27,554	21,195	27,554	-	-	100.0
6	5,516	9,220	1.67	7,001	11,692	12,517	20,912	8	44.1	55.9
7	16,668	24,499	1.47	12,427	18,268	29,095	42,767	8	57.3	42.7
8	27,229	61,184	2.25	-	-	27,229	61,184	12	100.0	-
9	113,685	126,619	1.11	-	-	113,685	126,619	12	100.0	-
10	42,190	51,684	1.23	-	-	42,190	51,684	12	100.0	-
11	4,580	5,496	1.20	92,771	111,325	97,063	116,821	8	4.7	96.3
12	-	-	-	30,311	39,405	30,311	39,405	-	-	100.0
13	2,287	3,431	1.50	12,000	18,000	14,287	21,431	8	16.0	84.0
14	54,301	61,361	1.13	26,860	30,353	81,162	91,714	12	66.9	33.1
15	86,682	201,348	2.32	-	-	86,682	201,682	12	100.0	-
16	25,913	31,096	1.20	56,829	68,196	82,742	99,292	12	31.3	68.7
17	48,983	44,209	0.90	-	-	48,983	44,209	12	100.0	-
18	2,352	3,575	1.52	-	-	2,352	3,575	8	100.0	-
19	34,027	51,722	1.52	-	-	34,027	51,722	ND	100.0	-
20	164,836	171,429	1.04	-	-	164,836	171,429	ND	100.0	-
21	74,197	97,173	1.31	-	-	74,197	97,173	ND	100.0	-
22	79,040	121,532	1.54	14,005	21,568	93,045	143,100	8	84.9	15.1
23	43,735	50,884	1.11	1,933	2,146	47,668	53,030	12	95.9	4.1
24	6,973	8,982	1.29	-	-	6,973	8,982	8	100.0	-
25	28,959	16,819	0.58	-	-	28,959	16,819	-	100.0	-
26	4,325	6,575	1.52	13,650	20,748	17,975	27,323	8	24.1	75.9
TOTAL:	**986,213**	**1279012**	**1.30**	**288985**	**369,255**	**1275,198**	**1648267**	**-**	**77.3**	**22.**

(*) = (10^9Kcal)

CUADRO II.12.
COSTO DE LA ENERGIA ENTRE EL VALOR DE LAS VENTAS PARA LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (1982)
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

PLANTA	ENERGIA COMPRADA / PRODUCCION A LA VENTA ($/MILES DE $)	(Kcal/$)	
1	15.592	87.822	
2	240.471	1,206.589	
3	36.005	157.931	
4	25.603	109.050	
5	10.455	142.486	
6	6.070	43.072	
7	30.096	169.490	
8	52.022	102.503	
9	36.990	140.015	
10	26.369	97.717	
11	46.274	489.349	
12	228.153	1,553.509	
13	20.216	181.742	
14	70.814	551.097	
15	217.498	368.239	
16	59.217	333.218	
17	59.032	331.373	
18	0.766	10.815	
19	85.882	284.121	
20	20.261	130.076	
21	40.450	147.002	
22	100.258	739.668	
23	24.178	111.845	
24	37.949	221.615	
25	6.454	31.778	
26	0	-	
PROMEDIO		**39.176**	**207.939**

CUADRO II.13.
CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS GENERADORES DE ELECTRICIDAD CON VAPOR EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL (1982)
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

	AÑO DE INICIO DE OPERACIONES	POTENCIA DE PLACA (KW)	GENERACION (MWH)	V A P O R GASTO (Kg/hora)	PRESION (Kg/cm^2)	TEMPE. (°C)	NUMERO DE EXTRAC.	FACTOR DE PLANTA (%)
5	1970	12,500	21,195	19,444	N.D.	445	2	19.4
6	-	1,250	3,015	6,933	30.5	340	-	27.5
	-	2,250	3,986	5,858	30.5	340	-	18.2
7	1958	2,150	7,456	10,000	40.0	400	-	39.6
	-	1,250	4,971	6,000	21.0	350	-	45.4
11	1948	4,375	21,217	19,624	28.1	371	1	55.4
	1966	4,375	28,359	20,199	28.1	371	1	74.0
	1966	4,375	19,746	23,436	28.1	371	1	51.1
	1970	6,250	20,878	39,934	28.1	372	1	38.1
	1978	300	2,571	9,401	N.D.	215	1	97.8
12	1978	3,125	13,789	28,772	42.0	450	-	50.4
	1978	7,500	16,523	35,166	42.0	450	-	24.2
13	1978	6,375	12,000	12,670	40.0	420	1	21.5
14	1976	3,500	22,563	29,400	40.0	420	-	73.6
	-	3,500	4,298	5,600	40.0	420	-	14.0
16	1979	9,500	30,654	37,951	43.3	410	2	36.8
	1979	8,000	26,176	32,407	43.3	410	2	37.4
22	1932	1,800	9,884	30,000	30.0	340	-	62.7
	1955	5,000	2,779	33,000	30.0	340	-	6.3
	1955	3,100	1,342	54,000	30.0	340	1	4.9
23	1950	1,250	1,933	8,500	29.0	342	-	17.7
26	1948	1,563	6,200	7,000	28.0	400	-	45.3
	1966	1,250	7,450	11,000	28.0	400	-	68.0
TOTAL	**-**	**94,788**	**288,985**	**-**	**-**	**-**	**-**	**34.8**

CUADRO II.14.
CONSUMO DE ENERGIA TERMICA Y ELECTRICA EN LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL
(PROMEDIOS NACIONALES DE 1984)
(ENCUESTA IMP-PEMEX MODIFICADA)

	KCAL/TON (1)	KWH/TON (1)
PAPEL (promedio)	4,631,326	785
Sanitario y facial	4,601,665	845
Periódico y libro de texto	4,813,695	755
Empaque	4,132,780	610
Escritura e impresión	4,977,165	930
PULPA (promedio)	4,807,297	809
Pasta mecánica	5,630,090	1,805
Pulpa al sulfato blanqueada (2)	6,188,985	835
Pulpa al sulfato sin blanquear	3,813,590	435
Pulpa de bagazo de caña blanqueada (2)	5,899,110	675
Pulpa de bagazo de caña sin blanquear	2,504,710	295

(1) Incluye combustibles para el autoabastecimiento de energía eléctrica.
(2) Se toma como estándar 82 grados General Electric.

CUADRO II.15.
CONSUMO GLOBAL TOTAL EN LA PRODUCCION DE PAPEL Y CELULOSA
(PROMEDIOS NACIONALES DE 1984)
(ENCUESTA IMP-PEMEX MODIFICADA)

	ENERGIA TERMICA + E. ELECTRICA EN KCAL/TONELADA (1)
PAPEL (promedio)	6,876,426
Sanitario y facial	7,018,365
Periódico y libro de texto	6,972,995
Empaque	5,877,380
Escritura e impresión	7,636,965
PULPA (promedio)	7,121,037
Pasta mecánica	10,792,390
Pulpa al sulfato blanqueada (2)	8,577,085
Pulpa al sulfato sin blanquear	5,057,690
Pulpa de bagazo de caña blanqueada (2)	7,829,610
Pulpa de bagazo de caña sin blanquear	3,348,410

(1) Incluye combustibles para el autoabastecimiento de energía eléctrica.
(2) Se toma como estándar 82 grados General Electric.

cuanto a sus consumos de energía, mientras que en la fabricación de pulpa, la pasta mecánica requiere un elevado gasto de energía eléctrica.

II.4.3. Perspectivas del consumo de energía en la industria de la celulosa y del papel.

Se calcula que la demanda de materia fibrosa (sin fibras secundarias) se incrementará a una tasa de 5.1% hasta 1995. Se prevé que la producción crecerá a un ritmo anual de 3.7% en el mejor de los casos, por lo tanto en el mediano plazo se tendrán faltantes de materiales celulósicos cada vez mayores.[Ref.7]

La demanda de papel posiblemente crecerá en un promedio del 4.7% anual en ese período, menor a la tasa histórica que se sitúa en un 7%.

Se ha previsto que la producción mundial puede aumentar a un ritmo del 3.5% anual en el mismo período. Lo anterior implica que se van a tener fuertes déficits de papel. La proyección de necesidades de combustibles y electricidad comprada se muestra en el Cuadro II.16. Ahí se observa que en 1985 las industrias de la celulosa y del papel consumieron 22.4 MBD de combustibles (en términos de combustóleo equivalente) y 1950 GWH de electricidad. Las cantidades anteriores se refieren a combustibles "externos", es decir no se incluye el licor negro y la electricidad autogenerada como un consumo de combustible.

El consumo de esta rama industrial representó en 1985 el 4.2% de las ventas internas de combustibles de PEMEX, y 4.8% de la electricidad facturada en las tarifas industriales 4, 8 y 12, por la CFE. Esto evidencia que la ICP es una de las que demandan más energía en el país.

Las posibilidades técnicas de cambiar el gas natural por combustóleo son muy altas, ya que estos energéticos se usan en la ICP casi exclusivamente para generar vapor. Pero el combustóleo contamina más que el gas y es necesario cuidar el medio ambiente; por lo tanto, deberá buscarse una solución equilibrada a esta situación. Pues pudiera ser que lo que una planta ahorrara en costos de energía al cambiar a combustóleo, fuera menor que lo que tuviera que gastar para evitar la contaminación.

Se calcula que en 1985 de los 22.4 MBD de combustible consumidos en la ICP, 60.7% eran de combustóleo, 38.4% de gas natural y únicamente el 0.9% de diesel y petróleo diáfano.

Además, la composición de la energía consumida por la ICP en 1989, fue de 47.5% de combustóleo, 37.1% de gas, 14.7% de electricidad y 0.6% de diesel. Se estima que en 1995 las necesidades de combustible serán de 32 MBD, de las cuales 22% serán gas natural. En cuanto a la electricidad, se estima que su

CUADRO II.16.
PRONOSTICO DE CONSUMO DE ENERGETICOS EXTERNOS EN LA ICP,CASO BASE.
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

Año	Combustibles (MBD)/1	Electricidad comprada (GWH)	Total Kcal x 10^{12} /2
1991	28.6	2,591	24.0
1992	29.4	2,651	24.7
1993	30.3	2,737	25.4
1994	31.2	2,803	26.2
1995	32.0	2,879	26.8
TMAC 1985-95 (%)	3.6	4.0	3.7

1=Equivalentes a combustóleo.
2=Electricidad comprada: 2,860 Kcal =1 KWH

FUENTE: Estimaciones de PEMEX. [Ref.7].

CUADRO II.17.
CONSUMO DE ENERGETICOS EXTERNOS EN LA ICP
SEGUN ESTANDARES DEL CONSUMO EN JAPON.
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

Año	Combustibles (MBD) 2	Electricidad comprada (GWH)1,3	Total (Kcal x 10^{12} /2
1991	20.2	2,009	17.5
1992	20.8	2,062	18.0
1993	21.5	2,132	18.6
1994	22.1	2,190	18.6
1995	22.6	2,251	19.6

1=Se supone que se compra 75 % de la electricidad requerida.
2=En equivalentes de combustóleo.
3=Electricidad comprada 2,860 Kcal =1 KWH (por convención).

FUENTE: Estimaciones de PEMEX.

su consumo crecerá 4% anual, más rápido que los combustibles. En tales circunstancias, la demanda de energía eléctrica de la ICP alcanzará 2,879 GWH en 1995. Las proyecciones anteriores se han hecho suponiendo que van a persistir los consumos energéticos observados en el pasado.

Sin embargo, hay bases para esperar que esto no suceda así, pues los precios crecientes de los combustibles y las nuevas tarifas eléctricas a la alza, harán sin duda que los empresarios de la ICP instrumenten medidas eficaces de uso eficiente y ahorro de energía y que utilicen la tecnología más reciente en los procesos de elaboración de celulosa y papel, con lo cual los consumos de energía serán menores a los pronósticados.

Por otra parte, si los patrones nacionales de consumo de energía en la ICP fueran semejantes a los de Japón, que se ilustran en el cuadro II.17. se consumiría un 30% menos de combustóleo y 20% menos de electricidad. Esto da una idea de la relevancia que pueden tener las medidas de ahorro y uso eficiente de la energía aplicadas a este sector.

El cuadro II.18. señala la diferencia entre la proyección básica y el consumo energético derivado del patrón japonés. En 1995, el ahorro de combustibles y electricidad, expresado como energía primaria, equivaldría a 12.5 MBD de combustóleo.

En forma sumamente conservadora, el potencial inmediato de ahorro de combustibles a mediano plazo (1995) podría ser de 15% y en electricidad de 10%.

Una de las opciones más importantes para el uso eficiente de los energéticos se deriva del empleo más extendido de la cogeneración, cuyas posibilidades de aplicación en la ICP son muy amplias.

La relación de potencia a consumo de calor por hora en las mismas unidades se sitúa entre 0.3 y 0.4, para la mayoría de las plantas. Esto significa que una vez satisfechas las necesidades de calor para proceso, queda un amplio márgen para que en forma simultánea se genere la electricidad necesaria mediante turbinas de vapor. La capacidad instalada en México para la cogeneración de electricidad en la ICP es de 100 MW, aproximadamente.

En el supuesto optimista de que el valor anterior se duplique en diez años y que la tasa de utilización aumente de 70 a 75%, lo que es relativamente poco, la puesta en marcha de la cogeneración, daría por resultado los consumos energéticos del cuadro II.19. Los ahorros que se derivan, con respecto a la proyección básica se dan en el cuadro II.20. Una mayor penetración gradual de la cogeneración propiciaría un ahorro de 6.9 MBD de combustóleo en 1995.

Existe un gran desperdicio de papel, en el Cuadro II.21. se muestra el desperdicio energético que provoca quien no emplea de manera adecuada artículos de papel de uso generalizado.

En el Cuadro II.22. se analizan los consumos específicos de hidrocarburos y electricidad que tuvieron tres plantas que fabrican papel , éstas pertenecen a la categoría A, es decir son plantas que generan parte de la electricidad que consumen.

Lo que se observa en esas plantas es que para un porcentaje de aprovechamiento de la capacidad instalada practicamente igual, los consumos específicos de hidrocarburos son muy diferentes, así para la planta que produce 100% de papel de empaque su consumo es de 2.3 BCE/ton de papel, mientras que para la planta que produce papel de impresión y de empaque, el consumo específico es de 4.7 BCE/ton de papel y por último para la planta que elabora papel higiénico y especiales, el consumo de hidrocarburos es de 6.4 BCE/ton de papel, que es el más alto de las tres.

Todo lo anterior es congruente con nuestra tesis de que el consumo específico de energía va en aumento de acuerdo al grado de elaboración del papel que se esté fabricando.

CUADRO II.18.
POSIBILIDADES DE AHORRO ENERGETICO EN LAS ICP, RESPECTO A ESTANDARES JAPONENES.
(ENCUESTA IMP-PEMEX)

Año	Combustibles (MBD)/1	Electricidad comprada (GWH)	Total (kcalx10^{12} /2)
1991	8.4	582	6.5
1992	8.6	589	6.7
1993	8.8	605	6.8
1994	9.1	613	7.0
1995	9.4	628	7.3

1=Equivalente a combustóleo.
2=Electricidad comprada: 2,860 Kcal = 1 KWH (por convención)

FUENTE: Estimaciones de PEMEX.

CUADRO II.19.
CONSUMO DE ENERGETICOS EXTERNOS EN LAS ICP,
CON LA PENETRACION GRADUAL DE LA COGENERACION.

Año	Combustibles (MBD) /1	Electricidad comprada (GWH)	Total ($Kcalx10^{12}$)/2
1991	26.1	2,117	21.2
1992	26.6	2,149	21.6
1993	27.2	2,182	22.1
1994	27.7	2,214	22.4
1995	28.3	2,247	22.9
TMAC 1985-1995 (%)	2.4	1.4	2.1

1 = Equivalentes a combustóleo.
2 = Electricidad comprada : 2,860 Kcal= 1 KWH .

FUENTE: Estimaciones de PEMEX.

CUADRO II.20.
AHORRO DE ENERGETICOS EXTERNOS EN LA ICP,
PENETRACION GRADUAL DE LA COGENERACION.

Año	Combustibles (MBD) /1	Electricidad comprada (GWH)	Total ($Kcalx10^{12}$)/2
1991	2.5	474	2.8
1992	2.8	502	3.1
1993	3.1	555	3.4
1994	3.5	589	3.7
1995	3.7	632	4.0

1=Equivalentes a combustóleo.
2=Electricidad comprada: 2,860 Kcal =1 KWH

FUENTE: Estimaciones de PEMEX.

CUADRO II.21.
IMPLICACIONES DEL DESPERDICIO DE PAPEL, EN EL CONSUMO DE ENERGETICOS.

Por cada:	Se desperdician los sigueintes litros de combustóleo.
Periódico /1	0.4
Block de papel bond de 100 hojas	0.3
Rollo de papel sanitario	0.2
Paquete de 100 hojas para computadora /2	0.9

1= Se refiere al periódico con la extensión común de lunes a sábado.
2= Se refiere a la hoja de 11 x 15 pulgadas y de 72 g/m^2 (papel bond).

Fuente: Estimaciones propias de PEMEX .

CUADRO II.22.
CONSUMOS ESPECIFICOS DE HIDROCARBUROS Y ELECTRICIDAD REGISTRADOS EN 3 FABRICAS DE PAPEL DE LA CATEGORIA A. *

Empresa No.	Tipo de papel elabor. y % .	Capacidad instalada (ton/año)	Producción neta de papel(ton/año)	Aprovecham. de capacid. instal.(%)	BCE/ ton papel.
7	Escritura e impres.: 46.9% Empaque: 34.0% Especiales: 19.1%	18,000	13,300	73.9	4.7
8	P. empaque 100 % .	14,300	11,000	76.9	2.3
	Higiénico: 63% Especiales: 37%	12,700	9,270	73.0	6.4

* = Categoría A, son las empresas que generan electricidad y consumen como materia prima fibras secundarias.

FUENTE: Resumen propio efectuado a partir de cálculos de PEMEX, 1987.

CUADRO II.23.
CONSUMOS ESPECIFICOS DE HIDROCARBUROS Y ELECTRICIDAD, REGISTRADOS EN 18 (DE 24) EMPRESAS PAPELERAS COMPRENDIDAS EN LA CATEGORIA B * .

Empresa No.	Tipo de papel elaborado(%)	Capacidad instalada (ton/año)	Producción neta de papel(ton/año)	Aprovecham. de capacid. instal.(%)	BCE/ ton de papel
19	P. empaque 100%	101,000	79,259	78.5	2.9
20	P. empaque 100 %	32,000	25,000	78.1	3.1
21	P. empaque 100 %	30,000	28,576	95.3	2.1
22	P. empaque 100 %	34,760	26,070	75.0	2.7
23	P. empaque 100 %	30,200	22,266	73.8	2.8
24	P. empaque 100 %	50,960	22,000	43.2	3.4
1	Escrit. e impres.:62.5% sanit. y facial: 37.5 %	36,000	14,550	40.4	6.0
2	Embal.:81.1% esc. e impr. 17.5% ,esp.:1%	32,000	25,000	78.1	-
3	Empaque:67.7% Esc. e impr. 8.6% espec.:23.7%	28,000	17,795	63.0	3.2
4	Empaque:87.3% Esp.:0.3% Esc. e impr. 12.4 %	22,500	18,795	83.5	2.9

CUADRO II.23. (CONT.)
CONSUMOS ESPECIFICOS DE HIDROCARBUROS Y ELECTRICIDAD, REGISTRADOS EN 18 (DE 24) EMPRESAS PAPELERAS COMPRENDIDAS EN LA CATEGORIA B * .

Empresa No.	Tipo de papel elaborado(%)	Capacidad instalada (ton/año)	Producción neta de papel(ton/año)	Aprovecham. de capacid. instal.(%)	BCE/ ton de papel
5	Empaque:78.7% Esp.:16.3% Esc. e impr.:5%	20,250	12,544	62.0	3.9
6	Esc. e impr. 97.5% Otros:2.5	4,500	2,665	59.2	4.2
7	Sanit.y fac. 99.8 % Esp.:0.2%	165,000	138,500	83.8	2.7
8	ESc. e impr. 100 %	119,000	95,111	79.9	2.4
9	Esc. e impr. 24 % Empaque:76 %	89,500	69,960	78.2	2.8
10	Empaque:78 % Espec.:22 %	72,000	56,564	78.6	3.8
11	Espec.:54/6% Empaque:2.7% Sanit. y fac. 5.9 % ESC. e impr.:36.8 %	87,000	26,580	77.2	3.6
12	Higiénico y facial:100%	36,000	30,465	84.6	5.1

* = Las empresas tipo B, son las que no generan electricidad en planta y emplean como materia prima principal, las fibras secundarias para elaborar la celulosa.

FUENTE: Resumen propio efectuado a partir de cálculos de PEMEX, 1987.

Finalmente, en el Cuadro II.23. se muestra una comparación de consumos específicos de energía en BCE/ton de papel, para diferentes plantas. Puede observarse en ese cuadro como plantas que fabrican un mismo producto tienen consumos específicos muy diferentes, lo cual se debe al diferente grado de obsolescencia de su equipo industrial y a la actualización diversa de la tecnología que utilizan para fabricar un determinado producto.

Los consumos específicos de energía para plantas que producen diferentes productos por supuesto que tienen que ser diferentes y así se observa en el cuadro mencionado.

Por ejemplo las plantas 19,20,21,22,23 y 24 que producen unicamente papel de empaque, tienen un consumo específico de energía que va de 2.1 a 3.4 BCE/ton de papel, lo cual significa una variación del 35% entre el consumo mínimo y el máximo.

En este mismo grupo de empresas se observa como la que tiene mayor consumo específico de energía es también la que tiene el menor aprovechamiento de su capacidad instalada (43.2%), y la que tiene menor consumo de energía es la que tiene el mayor aprovechamiento de la capacidad instalada, 95.3% en este caso. De esto se deduce que el consumo específico de energía es inversamente proporcional al aprovechamiento de la capacidad instalada, entre otros factores.

Otro aspecto notorio es que las plantas que producen papel de escritura e impresión tienen un consumo específico de energía mayor a las que unicamente producen papel de empaque. Este consumo es en promedio de aproximadamente 3 BCE/ton de papel.

Finalmente se observa que las plantas que fabrican papeles especiales, sanitarios y faciales son las que tienen el mayor consumo específico de energía que llega a ser superior a 5 BCE/ton de papel.

CAPITULO III

ADMINISTRACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA

La verdad os hará libres.

JESUS DE NAZARET

CAPITULO III. ADMINISTRACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA.

III. 1. INTRODUCCION.

La administración de energía en una industria es el sistema que se encarga de llevar un control ordenado del suministro y consumo de energía en la misma. Este control debe empezar por saber que tipo de energéticos son los que consume la planta en cuestión, en qué cantidades y a qué costo. También se debe saber con precisión cuanta energía se consume, de que tipo y a que costo en cada una de las etapas y lugares físicos del proceso o procesos industriales que se desarrollan en la planta para ejecutar la producción de los productos. En el caso de las industrias de la celulosa y del papel, obviamente se tratará de esos productos.

III.1. Necesidad de la Administración de la Energía.

Debido al aumento de costos [Ref.12] y debido a que el suministro y el uso de la energía en la industria y en el comercio requieren una planeación a largo plazo más cuidadosa, su administración y buena gestión deben interesarles a tales industrias cada vez más.

La administración de energía demostrará intenciones firmes de una industria para ahorrar energéticos, pero para lograrlo se necesita conocer varios datos básicos, como los siguientes:

+ La cantidad total aproximada de cada tipo de energía usado en la planta bajo estudio. Esto comprenderá todos los tipos de carbón, de petróleo, gas natural, gas L. P. y la electricidad comprada. Las cantidades de combustibles usadas deben compararse convirtiendolas todas a una unidad común de energía: MJ, KWH, Kcal, etcétera.

+ Los costos actuales de cada tipo de energético comparados con los de años anteriores, usando de nuevo una unidad común.

+ Una primera estimación de los ahorros que pueden ser posibles mediante la toma de medidas inmediatas para efectuar mejoras sin hacer desembolsos de capital.

+ La importancia relativa de capital y costos de operación para el uso energético de la planta en los años recientes.

+ Los costos de operación más altos justificarán claramente futuros desembolsos de capital más grandes, sólo a condición de que las plantas se vuelvan más eficientes.

+ Los precios de las materias primas con alto contenido de energía (como el aluminio) es muy probable que suban en el futuro

a un ritmo más rápido que aquéllos con bajo contenido de energía. A largo plazo, la selección y procesamiento de materias primas, la utilización de materiales mejorados y el diseño de productos finales de baja energía con alta duración llegará a ser crecientemente importante.

El ahorro de energía afecta a los empleados de una planta, porque puede agregarse a su carga de trabajo, requiere de su cooperación, afecta su confort general o aún sus compensaciones. Pero el ahorro de energía desarrollará también la viabilidad de la compañía y con ello la seguridad en el trabajo y las perspectivas de un mejor pago. Los requerimientos de salud y de seguridad deben, por supuesto, aún ser alcanzados en todos los cambios que se hagan para mejorar la eficiencia. Sin embargo, debido a que el ahorro de energía enfoca su atención en las mediciones y control sistemáticos, los niveles de salud y seguridad serán a menudo mejorados.

III.2. LA AUDITORIA ENERGETICA.

La información sobre las compras, distribución y uso de la energía es escencial antes de que cualquier mejora o futura planeación pueda contemplarse seriamente. La forma de reunir los datos puede variar, pero ciertas cuestiones serán comunes a todas las industrias.

III.2.1. Conceptos Fundamentales.

Una auditoría energética [Ref.13] es un estudio cualitativo y cuantitativo detallado del modo y los lugares donde se consume la energía en una planta industrial, en un establecimiento comercial, en un hotel, en una universidad o en cualquier institución o establecimiento que consuma una cantidad considerable de energía en cualquiera de sus formas. Se puede decir que la auditoría equivale al diagnóstico energético, pero nada más en su parte determinativa y descriptiva, no en su parte propositiva.

El propósito fundamental de una auditoría energética es establecer los costos básicos relativos de varias formas de energía, los usos principales de la misma y los puntos principales en donde hay desperdicio e ineficiencia. Otro objetivo importante es determinar, de acuerdo al nivel de la misma, las oportunidades de ahorro de energía en la instalación o planta donde se esté aplicando dicha auditoría. Los estudios detallados y los balances de energía de puntos específicos o de sistemas de la planta en estudio forman parte de una auditoría, pero deberán realizarse aparte para que no retarden la auditoría inicial.

Las auditorías energéticas están teniendo una práctica cada vez más difundida en la industria. La auditoría energética es una

herramienta que la planta puede usar para determinar los suministros de energía, el potencial de conversión y el uso de la misma. Es un panorama técnico que ayuda a identificar oportunidades de ahorro, y permite convertirlas en proyectos.

Además provee de una guía para juzgar la factibilidad económica, asignando responsabilidad de instrumentación, estableciendo prioridades y un calendario de proyectos. La auditoría energética debe ser parte del programa global de administración de la energía en una planta industrial.

III.2.2. Tipos de auditoría energética.

Existen varios tipos de auditoría energética, pero se pueden resumir en tres, a saber:

a) Auditoría inicial o panorámica.
b) Auditoría corta o miniauditoría.
c) Auditoría completa o maxiauditoría.

Los objetivos principales de una auditoría energética consisten en determinar formas de reducir el consumo de energía por unidad de producto y llegar a costos de operación más bajos.

Auditoría panorámica o inicial.

Este tipo de auditoría se realiza mediante visitas por las instalaciones de una planta, en un tiempo muy corto. Se enfoca principalmente a la oferta y la demanda de energía, comunmente toma en cuenta el 70% de la energía total consumida en la planta bajo estudio. La auditoría inicial no es muy sofisticada ni precisa. La intención debe ser obtener resultados rapidamente y a la luz de la experiencia, tratar de mejorar la precisión después. Los formatos de análisis tendrán que ser probablemente rediseñados varias veces.

La primera recopilación de datos casi con seguridad va a contener datos inadecuados en las mediciones. Estos deberán anotarse y realizar otras etapas para mejorarlos.

Ejemplos obvios de desperdicio (fugas de vapor, falta de aislamiento, operaciones innecesarias, etc.) serán encontrados en el curso de las verificaciones más elementales. Esto debe atenderse de una sola vez. Unos cuantos resultados rápidos serán un gran estímulo para una acción más a fondo, y demostrarán el valor del trabajo a los excépticos.

Las verificaciones deberán llevarse a cabo de noche, en los fines de semana y durante los días festivos tanto como durante el día de trabajo normal, para asegurar que nada se ha pasado por alto.

El mayor problema es decidir sobre que período de tiempo representativo deberán hacerse las mediciones o estimaciones y el cálculo de las eficiencias. Cada punto requiere consideraciones individuales.

Una auditoría inicial deberá concretar las entradas de energía a los departamentos y a las partes individuales de la planta para encontrar donde y como se usa la mayor cantidad de energía. Las salidas de energía también son importantes en algunos casos, como en calentadores. En el inicio de las partes más grandes de la planta deberán realizarse los balances de calor. Las comparaciones pueden hacerse mejor si se usa una unidad común de contenido de calor, como: MJ, KWH, Kcal, etc.

La forma precisa de recopilación de datos dependerá del tamaño de la organización y de su complejidad, pero la mayoría de las auditorías energéticas pueden dividirse convenientemente en varias fases:
a) Compras de combustible y energía.
b) Energía usada por varios departamentos.
c) Energía usada en varios procesos dentro de los departamentos.
d) Verificación de listas de energía desperdiciada (junto con C).

Los encabezados usados en los ejemplos de las formas de análisis, son para guía solamente y los usuarios deberán desarrollar sus propias formas para satisfacer sus necesidades particulares.

Auditoría corta o miniauditoría.

Esta auditoría implica las estimaciones cuantitativas de los costos y los ahorros. Incluye además recomendaciones ingenieriles y proyectos bien definidos y enumera prioridades. En este tipo de auditoría se recuenta aproximadamente el 85% de toda la energía de una planta.

Con base en datos que se obtienen en una auditoría, puede definirse e iniciarse un plan energético nuevo de amplio rango. La auditoría panorámica o la corta, pueden ser una guía efectiva para recomendaciones previas o para la medida del progreso del programa de administracion de energía en la planta.

El alcance de una auditoría energética se refiere a la forma en la cual los hallazgos de la misma son consolidados, la profundidad a la cual se define y se realiza ingenierilmente una recomendación y el detalle con el cual el consumo de energía y los datos económicos son establecidos (por planta, área o producto).

En la auditoría inicial o panorámica, las recomendaciones suelen identificarse como listas para tomar decisiones de departamento inmediatas o en la necesidad de mayor definición.

La auditoría corta suele agrupar las recomendaciones para el ahorro de energía como gastos o inversiones de capital. Las recomendaciones sobre gastos son aquéllas que tienen que ver con el ajuste operacional o con el mantenimiento y que encuentran ciertos requerimientos de servicio o beneficio interno. Además, la auditoría corta permite algún estudio de las áreas del programa de energía que necesitan reforzarse.

Auditoría completa o maxiauditoría.

La auditoría completa requiere de mayor tiempo para determinar el consumo y el costo de cada fuente de energía, de cada proceso, de cada área y de cada producto. Estos datos suelen presentarse en costo por unidad de energía suministrada; costo y coeficientes de eficiencia para varios procesos; consumo y costo por unidad de producción. La meta final de todo tipo de auditoría energética es hallar formas para reducir el uso de la energía por unidad de producto términado o superficie de espacio.

La auditoría completa o a fondo examina todas las partes del programa de administración de energía y establece una forma de iniciar nuevos programas.

Duración y costo de una auditoría.

Una auditoría energética es intensiva en trabajo técnico. La duración de la auditoría, el tamaño del equipo que en ella se utilice y el contenido del informe final y especificaciones, que se hará en base a la profundidad de la misma, determinan el costo.

En México hay instituciones oficiales que ofrecen gratituitamente los trabajos de auditoría inicial, aunque cada vez hay más expertos y consultores que ofrecen este tipo de servicios.

Frecuencia de las auditorías.

Una auditoría puede ser realizada [Ref.14] en cualquier época del año, y tan larga como los registros de consumo de energía mensuales estén disponibles. Deben considerarse las variaciones anual, estacional y de mercado del consumo de energía por planta en estudio.

El tamaño de la planta es el principal factor para decidir el tipo y la frecuencia de una auditoría. Una auditoría costosa no es práctica para una fábrica que tenga un consumo de energía bajo. Por el contrario, si la planta tiene un consumo de energía muy elevado, puede ahorrar lo suficiente para pagar una auditoría completa o a fondo, varios meses después de términada ésta.

En general, la frecuencia de las auditorías varía desde una vez cada 6 ó 12 meses para la auditoría panorámica, hasta una vez

al año para la auditoría corta y cada tres años para la auditoría completa.

La frecuencia de una auditoría para una planta también se afecta por la efectividad del programa de administración de energía de la planta.

Indice de beneficio/costo.

Una auditoría apropiadamente dimensionada [Ref.14] que se lleva a cabo en una forma profesional, se paga a sí misma en pocos meses después de términada. Es común que en el primer año después de cerrada la auditoría, retorne de dos a cinco veces su costo.

El factor beneficio/costo de cada tipo de auditoría puede calcularse facilmente, como puede observarse en ejemplo siguiente:

¿Cuál será el factor beneficio/costo de una empresa de la ICP que tenga un consumo de energía de 30,000 millones de pesos al año, en cada uno de los siguientes casos?

a) Si en una auditoría panorámica identifica oportunidades de ahorro del 10% de la energía que consume, y de esas oportunidades el 15% se llevan a cabo, y la auditoría le cuesta 30 millones de pesos.

b) Si la empresa realiza una auditoría corta a un costo de 100 millones de pesos, y en ella identifica ahorros potenciales del 20%, y de los cuales pueden ponerse en práctica el 30%.

c) Si la planta, mediante una auditoría completa que le cuesta 400 millones de pesos, identifica oportunidades de ahorro por el 30% de la energía que consume, de las cuales se pueden hacer realidad un 55%.

El factor beneficio/costo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor beneficio/costo} = \frac{E \times O \times Y}{Z}$$

donde E = costo del consumo de energía en dólares o en pesos.
O = oportunidades de ahorro de energía identificadas, partiendo del consumo de energía anual, como fracción décimal.
Y = ahorros que van a ser alcanzados (porciento en fracción décimal de los ahorros identificados).
Z = costo de la auditoría en dólares o en pesos.

Solución del ejemplo anterior.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

a) para la auditoría panorámica el factor beneficio/costo será igual a:

$$f.\ B/C = \frac{20{,}000{,}000{,}000 \times 0.1 \times 0.15}{30{,}000{,}000} = 10 \text{ . relación de } 10/1.$$

b) Para la auditoría corta, el f.B/C será de:

$$f.\ B/C = \frac{20{,}000{,}000{,}000 \times 0.20 \times 0.30}{100{,}000{,}000} = 12. \text{ Relación de } 12/1.$$

c) En la auditoría completa, el f. B/C será de:

$$f.B/C = \frac{20{,}000{,}000{,}000 \times 0.30 \times 0.55}{400{,}000{,}000} = 8.25. \text{ Relación de } 8.25/1.$$

Como puede observarse, en las condiciones de este ejemplo el factor beneficio/costo es bastante atractivo para que cualquier empresa emprenda inversiones en auditorías energéticas y en llevar a la práctica proyectos de ahorro de energía.

También se puede concluir que la auditoría que más conviene realizar desde el punto de vista económico es la corta, y la que reditúa menos beneficios de acuerdo a lo que se invierte es la auditoría completa o maxiauditoría.

III.3. PREPARACION Y PASOS PRELIMINARES DE UNA AUDITORIA ENERGETICA.

La preparación es una etapa crítica en la realización de una auditoría energética. Esta debe empezar semanas o aún meses antes de su ejecución. Durante la preparación de la auditoría se deben considerar los objetivos, el alcance, el grupo de trabajo, la duración y el costo.

Deben emplearse listados para verificar costos, notas de avances, y calendarización preliminar. La clave de la preparación es la familiarización con la planta bajo estudio. Este paso puede incluir una o más visitas preliminares. Otro problema importante son los equipos de medición que van a utilizarse para medir y cuantificar el uso y desperdicio de energía. Hay que investigar qué equipo se requiere y de ése cual,puede proporcionar la planta en estudio y cual se debe llevar del exterior a la misma.

El control de consumos de energía y de materias primas será posible mediante el establecimiento de un sistema organizado de contabilidad analítica energética que permita conocer periódicamente los consumos de energéticos, por fuente, es decir de combustóleo, carbón, gas, electricidad, etcetera, y por centro

o lugar de consumo como calderas, hornos, secadores, molienda, destilación, etc: así como sus variaciones en el tiempo, dependiendo de los factores determinantes de la producción: diaria, semanal, mensual y anual, así como el factor de carga, la calidad de los productos y el grado de utilización entre otros.

Otro aspecto a determinar son los coeficientes de consumo específico por producto, rendimiento de las instalaciones, del proceso y de la planta, influencia del costo de energía en el costo de producción y otros coeficientes que se consideran convenientes.

Consumos globales de la planta.

Lo primero que debe hacerse es determinar el consumo de cada una de las fuentes de energía a lo largo del tiempo, a intervalos de semanas o meses, que se plasmarán en cuadros o gráficas tipo, previamente diseñadas. (Cuadro III.1 y III.2).

El segundo paso consiste en realizar una estadística similar a la anterior sobre la producción, pero expresada en unidades homogéneas.

También pueden determinarse los consumos nominales en función de los parámetros de diseño, para las mismas producciones indicadas anteriormente, de esta manera se podrán comparar estos consumos con los reales, determinándose las eficiencias que existen por cada fuente de energía y período de tiempo.

Consumos por centro de utilización.

Una vez efectuado el análisis anterior, es necesario definir claramente las diferentes áreas, zonas o centros de consumo de energía o áreas de utilización de la misma, mes a mes y año con año, estableciéndose los consumos reales de cada fuente de energía en cada centro de consumo, como se establece en el Cuadro III.3. Para cada centro de consumo se determinan los consumos nominales, teniendo en cuenta los parámetros de diseño, y se comparan con los consumos reales de manera semejante a lo indicado en el punto anterior. Esta información se recoge en cuadros como el III.4.

Consumos específicos.

Si se relaciona el consumo con la producción se puede obtener los consumos específicos de energía, para los diferentes productos, bien sean globales o por operación básica o por centro de utilización de energía.

CUADRO III.1.
CONSUMOS GLOBALES

MESES	ELECTRICIDAD		COMBUSTOLEO		GAS		TOTAL
	KWH	KCAL	TON	KCAL	M^3	KCAL	KCAL
ENERO							
FEBRERO							
MARZO							
ABRIL							
MAYO							
.							
.							
.							
DICIEMBRE							
TOTAL							

FUENTE: Técnicas de Conservación Energética en la Industria de la Celulosa y del Papel [Ref. 15].

CUADRO III.2.
CONSUMOS REALES Y NOMINALES POR PERIODOS DE ANALISIS

	FUENTE Y CONSUMO				
	ELECTRI-CIDAD	GAS	COMBUS-TOLEO	OTROS	TOTAL [Kcal]
PERIODO	N. R. D.	N.R.D.	N.R.D.	N.R.D.	N.R.D.
.					
.					
.					
TOTAL (Kcal)					

N= nominal, R =real, D =diferencia.

FUENTE: Adaptación de los cuadros de la referencia 15.

CUADRO III.3.
CONSUMOS DE ENERGIA REALES POR AREA O CENTRO DE UTILIZACION.

AÑO: **MES:**

CENTROS DE CONSUMO	TIPOS DE ENERGIA: COMBUSTOLEO ton	COMBUSTOLEO Kcal	GAS m^3	GAS Kcal	ELECTRICIDAD KWH	ELECTRICIDAD Kcal	TOTAL Kcal
Calderas							
Hornos							
Secadores							
Calefacción							
Fuerza							
Alumbrado							
Laboratorios							
.							
.							
.							
TOTAL							

FUENTE: Adaptación de los cuadros de la referencia 15.

CUADRO III.4.
CONSUMOS DE ENERGIA REALES Y NOMINALES POR CENTRO DE CONSUMO.

AÑO: **MES:**

CENTRO DE CONSUMO	CONSUMO POR TIPOS DE ENERGIA. ELECTRICIDAD N.R.D.	GAS N.R.D.	COMBUST. N.R.D.	OTROS N.R.D.	TOTAL (Kcal) N. R. D.
Calderas					
Hornos					
Secadores					
Calefacción					
.					
.					
.					
.					
TOTAL					

Donde N=nominal, R=real y D=diferencia.

FUENTE: Adaptación de los cuadros de la referencia 15.

Es muy importante conocer la evolución de los consumos específicos a lo largo del tiempo, para lo cual se pueden realizar gráficas apropiadas.

Pero para hacer una correcta interpretación de estos índices, es importante conocer otros datos, como el volumen de produccion, el número y duración de las paradas, etc., que alteran el consumo específico.

Supongamos que nuestro caso es una fábrica de papel. Si toda la producción fuera útil, la materia prima seca más las cargas de agregados necesarios sería igual a la producción y el volumen. El consumo específico es:

$$Ce = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Producción bruta}}$$

Pero en la medida que hay rupturas o recortes en las bobinas de papel el consumo específico sobre producto final útil irá aumentando.

Análisis de costos de energía.

Una vez que se conocen los consumos de energía de cada fuente, tanto por centros de consumo o de operaciones básicas, como para la totalidad de la planta, pueden evaluarse facilmente los costos de los distintos tipos de energía, y su porcentaje de participación en los costos de producción, en los precios de venta y en el beneficio de la empresa (Cuadro III.5.). Este da idea de cuales fuentes de energía requieren un mayor control en su consumo, debido a su fuerte incidencia en los costos de producción.

Aunque el ahorro de energía [Ref.12] es un objetivo deseable por sí mismo, la mayoría de los usuarios comerciales e industriales esperará que las mejoras en eficiencia muestren ahorros efectivos. Se requiere el verdadero costo de varias las formas de energía en cada sección de la planta para evaluar el costo-efectividad preciso.

En la práctica se emplean varios tipos de costos; las cifras de costo para varias formas de energía pueden derivarse mediante sucesivas aproximaciones hasta que se obtienen valores razonablemente confiables. Una cifra de costo aproximado es suficiente para un análisis inicial.

Una parte significativa del costo total de la energía es su costo neto de compra. La energía se trata a menudo como otros materias, se especifican los requerimientos por los departamentos de ingeniería o de producción y vendidos por un departamento especial, en los mejores términos que puedan ser negociados.

CUADRO III.5.
INCIDENCIA EN LOS COSTOS

CENTROS DE UTILIZACION	COSTOS DE ENERGIA PRODUCCION (%)	VENTAS (%)	BENEFICIO (%)
A			
B			
C			
D			
.			
.			
.			
.			
X			
TOTAL			

FUENTE: Idem.

En la práctica, los combustibles y la electricidad son a menudo suministrados bajo tarifas fijas con un pequeño margen de negociación. El petróleo, el gas L.P. y algunas veces los combustibles sólidos son más comunmente comprados en un mercado competitivo. En el caso de México, el mercado es uniforme porque depende de PEMEX. Las compras de energía pueden ser realmente complejas y necesitan ser coordinadas.

Tratándose de energía nunca hay la mejor compra. Una auditoría continua de las compras de combustible y de energía, volverá a los precios no aptos de ser comparados bajo una base común, pero cualquier forma de energía tiene ventajas y desventajas particulares para el usuario y ella sola no puede pesar su valor en cada caso.

Una vez que se han determinado los requerimientos generales de la energía, de cualquier modo, se pueden hacer algunas cosas para reducir los costos. Un escrutinio estricto de las escalas de precios y tarifas y una discusión detallada con los proveedores, puede revelar oportunidades para bajar los costos, tomando medidas como las siguientes:

+ Cambiar un combustible o grado del mismo por un suministro más abundante.
+ Aceptar remesas más grandes.
+ Estipular entregas en medios de transporte mejorados.
+ Agilizar los procedimientos de las entregas y reducir las demoras.
+ Negociar acuerdos de suministros interrumpidos.
+ Cambiar a tarifas más ventajosas.

+ Racionalizar el consumo de los combustibles que se usan más internamente.

El comprador considerará periódicamente, tanto como pueda, el valor real de su negocio hacia sus diferentes proveedores. Deberá considerar sus problemas con sus fluctuaciones estacionales en la demanda, el transporte, el trabajo, competencia, flujo de efectivo y disponibilidad de los suministros y entoces procurar hacer su negocio más atractivo para ellos, por las ventajas de las compras al contado.

El comprador conocerá el mayor problema que lo presiona, y la mayor debilidad de cada proveedor, así como las tendencias probables a largo plazo en la disponibilidad y el precio de la energía.

Además del costo neto de compra, el verdadero costo de cada forma de energía deberá tomar en cuenta todos los aspectos directamente relacionados con el almacenamiento del combustible o de la energía, distribución, conversión y utilización.

Incluirá temas como los siguientes:

+ Tanques o almacenes para combustible. Terreno para alamacenamiento.
+ Combustibles, chimeneas y reguladores de chimeneas.
+ Bombas, calentadores, ventiladores y otros equipos auxiliares.
+ Planta de tratamiento de aguas y planta de tratamiento de efluentes.
+ Agua para vapor y agua de enfriamiento.
+ Jornales y salarios. Mantenimiento y limpieza.

La identificación y costo de estos elementos va a proveer de una mejor apreciación, de donde se deriva una baja en los precios fijos y los costos asociados con los costos de energía y facilitará la evaluación de los verdaderos costos de la energía como una proporción de los costos totales.

Planeación.

La eficiencia de la combustión, el dimensionamiento óptimo de la planta y la planeación de la carga para dar una eficiencia global alta, son todos aspectos importantes para ser considerados cuando se calendariza la planeación de la producción o la instalación de una nueva planta.

La planeación requiere en la actualidad poner mucho más cuidado en investigar el uso de la energía y ciertas cuestiones necesitan ser respondidas en las primeras etapas, antes de que empiece la evaluación detallada y los cálculos sobre la amortización de las posibles mejoras.

Algunas preguntas que pueden hacerse son: ¿Es el método que se está considerando el más eficiente y económico teniendo en mente los probables costos de la energía?

¿Sería benéfico un cambio en el método de transferencia de calor (v.gr. de la radiación a la convección forzada)?

¿Un rediseño de la planta proporcionaría mayores ahorros a un costo más alto que la modificación de los arreglos existentes?.

¿Cuál es el propósito preciso de la planta?.

¿Pueden métodos alternativos de menor consumo de energía (v.gr. remoción mecánica del agua en lugar de secarla mediante calor), producir los mismos resultados?

¿Es la planta de tamaño óptimo para asegurar que esté siempre completamente cargada?.

¿Hay otro proceso para la planta que sea comparable o competitivo con el actual?

¿Está la operación de la planta calendarizada para minimizar los picos eléctricos y otros?.

¿Qué uso puede hacerse del calor de desecho?.

¿Las nuevas plantas traerán como consecuencia la producción de más calor de desecho?.

¿Podrá este calor ser utilizado?

¿Puede eliminarse cualquier étapa del proceso o combinarse con otra?

Cada organización tiene sus propios criterios para evaluar los proyectos de capital y determinar la amortizacion de las mejoras. Estas deberán aplicarse en la forma normal, pero sólo después de una consideración de los probables requerimientos energéticos de las diferentes alternativas. El cálculo deberá basarse entonces en las estimaciones consideradas de los probables costos futuros de la energía sobre la vida esperada de la planta.

Control regular.

Una vez que han sido realizadas las tareas más urgentes para incrementar la eficiencia y minimizar el desperdicio habrá revisiones regulares y pruebas para desarrollarla aún más. La calendarización de las mediciones hará más fáciles estas revisiones.

Las variaciones en la salida pueden también resultar en variaciones en el consumo específico de energía. Una mejor gestión energética en un departamento puede compensar deterioros en otros lugares. Los registros de energía son más claros si están preparados por departamentos individualmente y relacionan entre sí. En esta forma las mejoras y las fallas pueden detectarse más rapidamente. Los datos recopilados con base en una rutina no deben examinarse en una forma causal.

Deben ser consideradas cuidadosamente, por una persona competente las implicaciones de salud y ambientales.

III.4. ETAPAS DE UNA AUDITORIA ENERGETICA.

Con objeto de conocer la situación energética [Ref.15] de las industrias se necesitan realizar periódicamente auditorías energéticas que permitan diagnosticar el estado de los diferentes equipos en cuanto al uso de la energía se refiere.

La primera etapa comprende la realización de un análisis técnico con cierta profundidad de los componenes de cada proceso aislado. Este análisis se basa en los datos de operación existentes o calculados, e identifica la energía consumida en un equipo o en una parte del proceso total. Para su determinación, se realiza un balance de materia y un balance de energía. Se representan los flujos y la transformación de energía en la parte del sistema objeto del estudio. Se obtiene el consumo energético determinado de un equipo, de una operación básica o de un proceso.

Para lograr todo lo anterior es necesario emplear todos los medios de la planta en cuestión, pero no sólo eso, sino que se deberá pedir asesoría externa específica y consultar a los fabricantes de equipos, así como la documentación técnica. Cuando se dispone de toda esta información organizada, se vuelven a calcular los balances de materia y energía, si es necesario y se determinan las pérdidas en cada fase del proceso. Se realiza un análisis más exhaustivo de los primeros equipos y operaciones que consumen energía de manera continua e intensiva.

La segunda etapa consiste en determinar el ahorro potencial de energía. Pueden incluirse conceptos como revisión de los procesos, instalación de nuevos equipos y muchos otros.

Por último, en la tercera etapa se realiza un análisis económico de las inversiones requeridas, se determinan los períodos de amortización y se elabora una tabla de proyectos en orden de prioridad.

En el análisis técnico anterior o auditoría preliminar se van a detectar ciertos componentes que son escenciales en el

consumo de energía. A veces es necesario realizar este tipo de auditoría preliminar periódicamente, basándola en técnicas prefijadas. Esto se debe a que hay partes de un proceso industrial o de sus equipos que requieren de un análisis constante, respecto a su consumo de energía, ya que éste varía sensiblemente con varios factores. Este es el caso de los generadores de vapor, cuyo rendimiento térmico es muy sensible en los ajustes en el aire de combustión. Por lo tanto es necesaria una verificación constante de dicho sistema. También es necesario realizar un análisis periódico del contenido de oxígeno en humos, para instrumentar un ahorro de energía importante con base en tal análisis.

En algunos casos, ciertos equipos y operaciones requieren un control energético permanente. El cual se realiza mediante un registro continuo de ciertos parámetros relacionados con el gasto energético y su rendimiento. Como ejemplo se tiene el uso permanente de los analizadores continuos de gases de combustión en calderas y hornos de proceso, o el registro continuo de la demanda máxima de corriente en una instalación eléctrica.

III.4.1. Primera Etapa.

Para llevar a cabo la primera etapa se dan varios pasos secuenciales. En primer lugar, se debe conocer la información general de la planta en los siguientes aspectos:

a) Características generales de la planta que se está estudiando.

Instalaciones generales, con indicadores y diagramas de los principales procesos y equipos productivos. Centros productivos autónomos que cuenten con secciones independientes en cuanto a la producción. Secciones de servicios comunes, como almacenamiento y distribución de materias primas, combustóleo y productos acabados, alumbrado, calefacción, generación de vapor, etcétera.

b) Descripción de los procesos productivos.

Conviene tener a mano diagramas de bloques de los procesos productivos, incluyendo los flujos de materias primas, productos intermedios y finales, así como subproductos y efluentes.

La finalidad de lo anterior es dar una visión general de las transformaciones fisico-químicas que sufren los productos desde que son materia prima hasta su completa elaboración.

c) Fuentes de suministro de energéticos.

Relación detallada de la energía por fuentes, que se compra en el exterior y de la autoproducida en la planta (Cuadro III.6).

CUADRO III.6.
TIPOS DE ENERGIA.

TIPO	PODER CALORIFICO INFERIOR (Kcal/kg)	CONSUMO ANUAL (TEP)	CAPACIDAD DE ALMACENTO. (Nm^3 ó ton)	COSTO UNITARIO (pesos)	COSTO TOTAL (pesos)
.					
.					
.					

FUENTE: Idem.

Aquellos productos de naturaleza energética que no sean tranformados en energía, deberán figurar como materia prima.

También deben de conocerse las características de los energéticos adquiridos; así, en los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se indicará el suministrador, el costo del transporte, la naturaleza del combustible contenido en volátiles para los sólidos, el poder calorífico inferior, los tratamientos previos a la combustión (molienda, precalentamiento, etcétera).

En la electricidad se deben indicar las compañías abastecedoras y las líneas, la capacidad de abastecimiento y de transmisión.

Si se adquiere vapor, especificar el suministrador, la presión y temperatura de suministro, así como las condiciones del retorno de condensados, etc. Finalmente, la relación de energías propias autoproducidas. Combustibles que se obtienen como subproductos del proceso o en materias residuales.

Calor residual no aprovechado en sólidos, líquidos, gases procedentes de combustión, aerorrefrigerantes, etc. Se tomará para esta medida como nivel de referencia, la temperatura ambiente promedio anual. Todos estos datos pueden concentrarse en un Cuadro como el III.7.

En electricidad se requiere: potencia instalada (KW). Consumo medio horario (en KWH/h).

Número de motores: menores de 5 KW, de 5 a 25 KW, mayores de 25 KW,etc.

En la energía eléctrica cogenerada es conveniente la descripción del proceso de producción. La potencia disponible y

su variación en el ciclo productivo principal de la fábrica. Producción anual media, porcentaje de autoconsumo, % vendido al exterior, condiciones de venta.

Vapor vendido al exterior: Modo de producción, capacidad de producción (ton/hr), capacidad anual, presión (kg/cm^2), temperatura (^oC). Retorno de condensados: Presión (kg/cm^2), temperatura (^oC) y cantidad anual (ton).

Energía obtenida por intercambios caloríficos: Modo de producción, capacidad de producción(Kcal/hr), etc.

Diagrama de utilización energética donde se refleje la energía aportada y recuperada en los distintos procesos y áreas de servicios, incluyendo los posibles centros de transformación de energía.

d) Cálculos técnicos de consumos específicos.

Se calculará el consumo específico medio anual, tomando el aporte total de energía exterior para los procesos productivos, más la parte proporcional correspodiente de la energía exterior para servicios y se referirá a la unidad de producto final acabado. Cuando de un mismo proceso se obtengan varios productos, se hará una distribución ponderada de la energía, según se muestra en el Cuadro III.8.

CUADRO III.7.
FUENTES DE ENERGIA AUTOPRODUCIDA.

NATURALEZA	CENTRO PRODUC.	CANTIDAD ANUAL	CAPACIDAD ALMACEMTO.	PODER CAL.INF. P.C.I.	CALOR DIS. *1	UTILIZA-CION. *2

* 1=ton/año x P.C.I.
* 2=cantidad, uso % .

FUENTE: Idem.

CUADRO III.8.
CONSUMOS DE ENERGIA ESPECIFICOS.

TIPO DE PRODUCTO Y UNIDAD	ENERGIA CONSUMIDA POR UNIDAD DE PRODUCTO				
	ELECTRICA	COMBUSTIBLES	OTRAS FUENTES DE ENERG.	ENERGIA PRIMARIA	COSTO DE ENERGIA /UNIDAD DE PROD.
	KWH	KCAL	TEP	TEP	PESOS

FUENTE: Idem.

e) Fijación de indicadores.

Además de los consumos específicos por unidad de producto fabricado, se deben fijar otros indicadores generales que muestren claramente lo que representa la energía en el conjunto de las actividades de la industria.

A título de ejemplo, se relacionan algunos que según los casos serán de mayor o menor aplicación:

$$i_1 = \frac{\text{Costo de energía total consumida}}{\text{Número de horas productivas (o número de operarios)}}$$

$$i_2 = \frac{\text{Costo de energía total consumida}}{\text{Valor del producto final}}$$

$$i_3 = \frac{\text{Energía empleada en confort}}{m^2 \text{ ó } m^3 \text{ de locales acondicionados}}$$

$$i_4 = \frac{\text{Costo de energía empleada en confort}}{\text{Número de operarios o número de horas productivas}}$$

III.4.2. Segunda etapa.

En la segunda etapa se realiza un análisis detallado de la energía en la industria, tiene por objeto obtener la información específica sobre el empleo de la energía en las diferentes operaciones básicas, que constituyen un proceso productivo, y facilitar un método de control energético de ellas, sacando como conlusiones unos consumos específicos, térmicos y mecánicos que sirven de índices energéticos y que definirán el estado de la operación. Los pasos que se deben seguir son:

a) Diagrama de flujo energético.

Se recogerán todas las corrientes de energía que intervienen en las diferentes operaciones básicas, así como en las áreas de servicio. Cada corriente se simbolizará por una flecha sobre la que figurará su denominación correspondiente. Figura III.2.

b) Desglose por centro y unidades consumidoras.

Con el fin de obtener los rendimientos de los principales puntos de consumo y sus posibles mejoras, se estudiarán individualmente cada centro, unidad consumidora u operación básica, que justificarán los valores globales de consumo. Para ello, todos los centros y unidades consumidoras que integran un proceso productivo y que ya han sido tipificadas, podrán ser realizados por separado según la ficha de operación básica.

c) Fijación de medidas analíticas.

Para poder tener todos los parámetros necesarios para realizar un análisis energético, se hace necesario establecer de un modo preciso las variables a medir y los puntos concretos donde deben efectuarse tales mediciones.

Las principales variables a medir son el flujo de materia y energía en todos los pasos del proceso, la temperatura y presión del vapor tanto para proceso como para otros usos. La potencia nominal y real de todos los motores de la planta, su consumo de energía eléctrica y cuanta de ella se compra y cuanta se cogenera.

Por lo que se refiere al consumo de combustibles hay que anotarlo por tiempo y por tipo de combustible, e inclusive saber su poder calorífico o el porcentaje de humedad,etc.

Otras mediciones importantes son el contenido calorífico de las materias primas, del licor negro que se recircula en el proceso. Y en las chimeneas o lugares donde salen los gases a la atmósfera hay que realizar un exhaustivo análisis de los mismos, de manera periódica y frecuente para conocer ,aparte de su

composición química, su temperatura, su caudal, su contenido calorífico y hasta su presión.

Sin duda que en las plantas de la ICP, un grupo de parámetros a medir imprescindible es el relacionado con el uso y consumo del agua que se emplea en grandes cantidades. Hay que conocer su composición química, su temperatura, su presión, su contenido calorífico tanto a la entrada como a la salida de los procesos de la planta en estudio.

Descripción y características de cada equipo: capacidad teórica de producción; factor de utilización de la planta (ton/hr); detalles de la operación; características de utilización: flujos de materiales, presión, temperatura, etc.

Estado de la instalación: aislamiento (medición conductividad térmica) estanqueidad (evaluación de fugas), pérdidas de carga en conducciones,etc.

Características del equipo: Potencia nominal, intervalos de utilización, aparatos de medida y control, equipo auxiliar, antigüedad, rendimiento.

d) Energía utilizada.

Tipo, Consumo: medio horario y anual (en KWH o Kcal/año). Potencia instalada (KW o Kcal/hr). Energía estimada del proceso (%) sobre la total. Sistema de rectificado de corriente. Rendimiento en %.

Localización y evaluación de posibles pérdidas energéticas.

e) Producto tratado.

Tipo de producto. Tratamiento. Características térmicas a la entrada y a la salida. Ciclo operativo. Calor y energía mecánica teóricos necesarios (Kcal/ton). Cantidad de producto tratato: nominal, usual y anual en ton/año.

Efluentes térmicos como caudal en (m^3/hr o ton/hr), temperatura (^oC). Presión (kg/cm^2), etc.

Equipos auxiliares como: almacenamiento y distribución de materias primas y productos, dispositivos de recuperación por intercambio de calor (calderas de recuperación, turbinas, etc.)

Acondicionamiento de locales. Condiciones climáticas locales, insolación media en $Kcal/m^2$/día. Velocidad media del viento en km/hr.

f) Calefacción.

a) En oficinas y locales no industriales (superficie, sistema de calefacción, horas de funcionamiento al año, etc.). Cuadro III.9.

b) Naves industriales (volumen total a calentar en m^3, uso de la nave, sistema de calefacción, elementos generadores de calor, aislamiento, refrigeración, alumbrado y mantenimiento, etc.

Determinación de la instrumentación a emplear y de los sistemas de medida. Se verificarán los sistemas de medida para comprobación y cierre de los distintos balances a realizar, determinando la precisión requerida para cada una de las medidas.

De acuerdo con ello se comprobará que los instrumentos de medida a emplear en cada uno de los sistemas diseñados responden a las tolerancias prefijadas. Periódicamente se verificará el calibrado de dicha instrumentación.

CUADRO III.9.
ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACION

CARACTERISTICAS.	OFICINAS Y LOCALES NO INDUST.	ZONAS NAVES DE PRODUC. H<6M	ZONAS NAVES DE PRODUC. H>6M	ZONAS ALMACENES H<6M	ZONAS ALMACENES H>6M	VARIAB. EXTERIORES.	INSTALAC. INDUST. EXTER.	OTROS INDI-CAR.	TOTAL
S=SUPERFICIE (M^2)									
TIPO DE LAMPARAS									
P=POTENCIA (W)									
E=NIVEL DE ILUMINAC.(LUX)									
ABERTURA DE LUZ NAT.									
RENDIMIENTO R=P/(S x E)									

FUENTE: Idem.

III.5. CONTABILIDAD ENERGETICA.

III.5.I. Realización de Balances de Energía.

Por cada unidad de análisis u operación básica es necesario hacer un balance de materia y energía que permita conocer las pérdidas, rendimiento, consumos específicos, etc., de modo que comparando los resultados con los valores nominales de proceso, se pueden determinar las posibles mejoras a efectuar con objeto de disminuir las pérdidas y aumentar el rendimiento energético.

Del conjunto de balances de toda la planta se podrá efectuar un diagrama de distribución energética. En el cuadro III.10 se muestra un posible formato para la realización de un balance energético.

Al analizar el balance energético se deben tomar en cuenta también los aportes de energía mecánica (electricidad, vapor, aire comprimido) a dicha unidad o instalación.

Por último, se hace un resumen de los consumos unitarios y totales de cada proceso productivo, con objeto de conseguir el rendimiento de utilización de la energía en la instalación.

Existen otros formatos que se utilizan para concentrar los datos de cada una de las unidaes estudiadas por año, realizándose después otro con los datos de todo el centro de producción.

Para ello deberá tomarse en cuenta los siguientes datos:

a) Los consumos absolutos en Kcal o en KWH.

b) Los consumos específicos se referirán a Kg de productos finales por operación y se hará una distribución ponderada del aporte de energía total para cada uno de ellos.

c) Los consumos medios horarios de energía, obtenidos en las distintas operaciones, se multiplicarán por las horas de funcionamiento y se transladarán al cuadro.

d) Tanto el aporte total de energía exterior para procesos, como las salidas no aprovechadas y las pérdidas por cierre de balance, se llevarán a un cuadro de rendimiento de utilización de la energía.

Para interpretar mejor los resultados del análisis efectuado, se recomienda elaborar diagramas de flujo energético por operación básica.

La comparación de los consumos específicos y rendimientos obtenidos con los de diseño o nominales y con los teóricos, permitirá evaluar las eficiencias energéticas, determinando así

los centros donde existen posibilidades de ahorro de energía. Esto puede resumirse en un Cuadro como el III.11.

Hay que tomar en cuenta que los rendimientos y consumos específicos están afectados por una serie de factores, como pueden ser: régimen de marcha, grado de utilización, rechazos del producto final, grado de obsolescencia de equipos, etc., que es necesario evaluar para poder diagnosticar el estado energético de las instalaciones. El grado de utilización es un parámetro muy importante. En las figuras III.1., III.2. y III.3. se incluyen algunos ejemplos tipicos para hornos, motores y generadores de vapor.

FIGURA III.1.
VARIACION TIPICA DEL RENDIMIENTO CON LA CAPACIDAD DE UTILIZACION EN HORNOS.

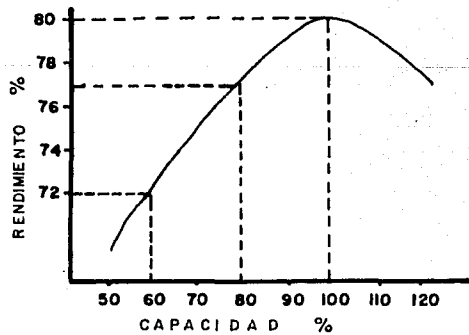


FIGURA III.2.
VARIACION TIPICA DEL RENDIMIENTO CON LA CAPACIDAD DE UTILIZACION EN MOTORES.

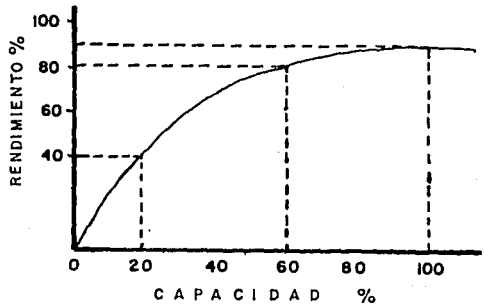
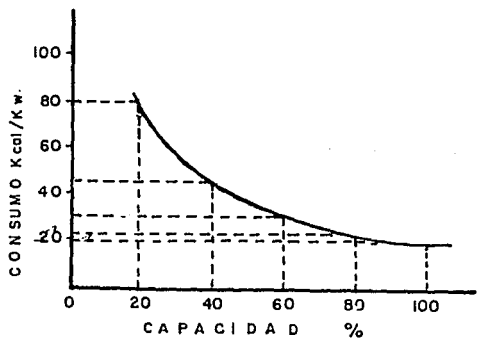


FIGURA III.3.
VARIACION TIPICA DEL RENDIMIENTO CON LA CAPACIDAD DE UTILIZACION EN GENERADORES DE VAPOR.



CUADRO III.10.
FORMATO DE BALANCE

FLUJOS DE ENERGIA.	A CAUDAL Kg/H M^3/H	B TEMPER °C	C PRES. Kg/cm^2	D ENTALP. Kcal/Kg $KCAL/M^3$	E AxD KCAL/h	F CALOR COMB. AxPCI	E+F Kcal/H
ENTRADAS ORIGEN							
PRODUCTOS							
.....							
.....							
Energía eléctrica para calentamiento calor de reacción (Kcal/h)							
TOTAL (Kcal/h)							
SALIDAS DESTINO							
aprovechadas:							
.....							
.....							
Subtotal (kcal)							
No aprovechadas:							
.....							
.....							
.....							
Subtotal							
Pérdidas por cierre de balance							
TOTAL (kcal)							

$$\text{Rendimiento térmico: } R = \frac{\text{Energía Aprovechada}}{\text{Energía Consumida}}$$

FUENTE: Idem.

CUADRO III.11.
COMPARACION DE RENDIMIENTOS TEORICOS Y REALES.

PLANTA, PROCESO OPERACION BASICA	CONSUMOS ESPECIFICOS-RENDIMIENTO TEORICO	NOMINAL	REAL	OBSERVACIONES
A				
B				
C				
.				
.				
.				
.				
X				
TOTAL				

FUENTE: Idem.

El objetivo final y más importante de la auditoría es la determinación de las posibles mejoras por las que se puede obtener un ahorro energético, las cuales podrán establecerse a partir del análisis de los datos anteriores, fundamentalmente de la consideración de las pérdidas y de la comparación de los rendimientos y consumos específicos reales, con los nominales y teóricos. A partir de dicho análisis puede elaborarse un cuadro donde se resuman los ahorros posibles de energía (Cuadro III.12).

Una vez decididas las posibles mejoras, se rehace el balance de la nueva situación, y se determina el ahorro que esas mejoras ocasionarán.

III.5.2. Ejemplos de balances energéticos en la ICP.

La comparación de los consumos de energía es muy difícil de realizar, ya que, generalmente, los datos disponibles son globales, es decir indican, por ejemplo, la cantidad de combustibles, de vapor o de electricidad, que consumió una planta de la ICP para producir determinada cantidad de celulosa más cierta cantidad de papel, pero no aclaran cuanta energía se consumió en producir la celulosa, ni cuanta en el papel.
Aparentemente el problema se resolvería con base en mediciones directas en las plantas, sin embargo, dado el alto grado de integración de los procesos, aún midiendo directamente los consumos de energía es difícil y a veces imposible saber los consumos de energía para elaboración de papel y para elaboración de celulosa cuando la planta es integrada.

CUADRO III.12.
IDENTIFICACION DE AHORROS DE ENERGIA.

	AREAS O DEPARTAMENTOS							
EXCESOS O PERDIDAS.	MAQUI NARIA	HOR- NOS	CAL- DE	ENSAM- BLE	EMPA- CADO	LABO- RATO- RIOS	DEPO- SITO	OFICI- 0- CINAS TROS ADMVAS.
P. DE GAS O COMBUSTIBLE								
P. DE VAPOR								
P. DE AIRE OMPRIMIDO								
P. DE CON- DENSADO								
P. DE AGUA								
AISLAMTO. INADECUADO								
EXCESO DE ILUMINAC.								
EQUIPOS QUE OPE- RAN INNE- CESAR.								
QUEMADO- RES FUERA DE AJUSTE								
AIRE ACON- DICION. O VENTILAC. INNECESAR.								
EQUIPOS QUE OPERAN INTERMITENT.								

FUENTE: Idem.

Solamente en los casos en que toda la celulosa se convierte a papel, o en que se produce solamente celulosa, el problema se simplifica.

En este trabajo se realizó una simplificación para comparar distintas plantas entre sí. Esta consistió en considerar toda la producción de celulosa y papel, como una sola, de papel, y así obtener los consumos específicos de cuatro plantas tipo. Las características de una de ellas se resumen en el Cuadro III.13 y la figura III.4.

Las plantas que se analizan son de los siguientes tipos:

N°.1. Planta integrada que elabora celulosa mecánica y termo-mecánica de madera y papel periódico con gramaje de 45-55 g/m^2 .

N°.2. Planta integrada para pasta química de bagazo de caña blanqueada, papel tissue y de escritura e impresión.

N°.3. Planta integrada que elabora pasta química de madera sin blanquear y papel Kraft para empaque (100%).

N°.4. Planta integrada que elabora pasta química de bagazo de caña semiblanqueada para papel periódico y de libro de texto.

Si se comparan primeramente las plantas No.1. y No.3. , que producen, la N°.1. pasta mecánica de madera y papel periódico, y la ño.3 pasta química de madera sin blanquear y papel kraft para empaque.

Se observa que la planta No.1. consume 1.59 ton de vapor y 2.668 MWH/ton de papel periódico, en cambio la planta N°.3. consume 17.53 ton de vapor/ton de papel, que es alrededor de 9 veces mayor a la consumida en la planta N°.1.: pero, en cambio, el consumo de electricidad es apenas de aproximadamente 30%, o sea, mucho más bajo, sin embargo hay que agregar ahora un consumo de 0.468 m^3 de gas/ton de papel, esto evidentemente aumenta el consumo de energía en esta planta.

En general el consumo de energía/ton de papel es mucho mayor en la planta 3, y esto se debe en buena parte a que el papel Kraft a pesar de no ser blanqueado es más resistente, por lo que su proceso requiere de un mayor laminado y calandrado que consume más energía.

También influye el hecho de que en esta planta toda la celulosa se convierte en papel, lo cual significa un mayor consumo de energía. De todos modos parece muy elevado el consumo de vapor.

CUADRO III.13.
CONSUMOS DE MATERIAS PRIMAS, ENERGIA POR UNIDAD DE PRODUCTO EN 4 PLANTAS PROTOTIPO DE LA ICP.

TIPO DE PLANTA	CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA	PRODUCTOS FABRICADOS
No.1	257,969 m^3 de madera en trozo + 167,613 m^3 de astillas/año.	1.59 ton vapor/ton p. 2.668 MWH/ton papel periódico	548 ton/año 123,120 ton de p.p./año.
No.2	819,170 ton de bagazo húmedo = 221,996 ton de fibra apta.	7.158 ton vapor/ton p. 0.987 KWH/ton papel 0.54 x 10^3 m^3 gas/ton de papel.	155,120 ton papel/año. 94,340 ton celul./año.
No.3	526,675 m^3 de madera seca en rollo/año + 226,470 ton madera seca/año.	17.53 ton vapor/ton p. 0.901 MWH/ton de papel 0.468 m^3 combustóleo/ ton papel.	108,000 ton papel Kraft p. empaque /año.
No.4	331,860 ton de bagazo húmedo = 128,430 ton de fibra seca.	11.018 ton vapor/ton p. 1.434 KWH/ton de p. periódico y libro de texto. 0.951 m^3 de combustóleo /ton de p. periódico y libro de texto.	79,770 ton de p. periódico y libro de texto.

FUENTE: PERFILES ENERGETICOS No.3; consumo de energía en la ICP.

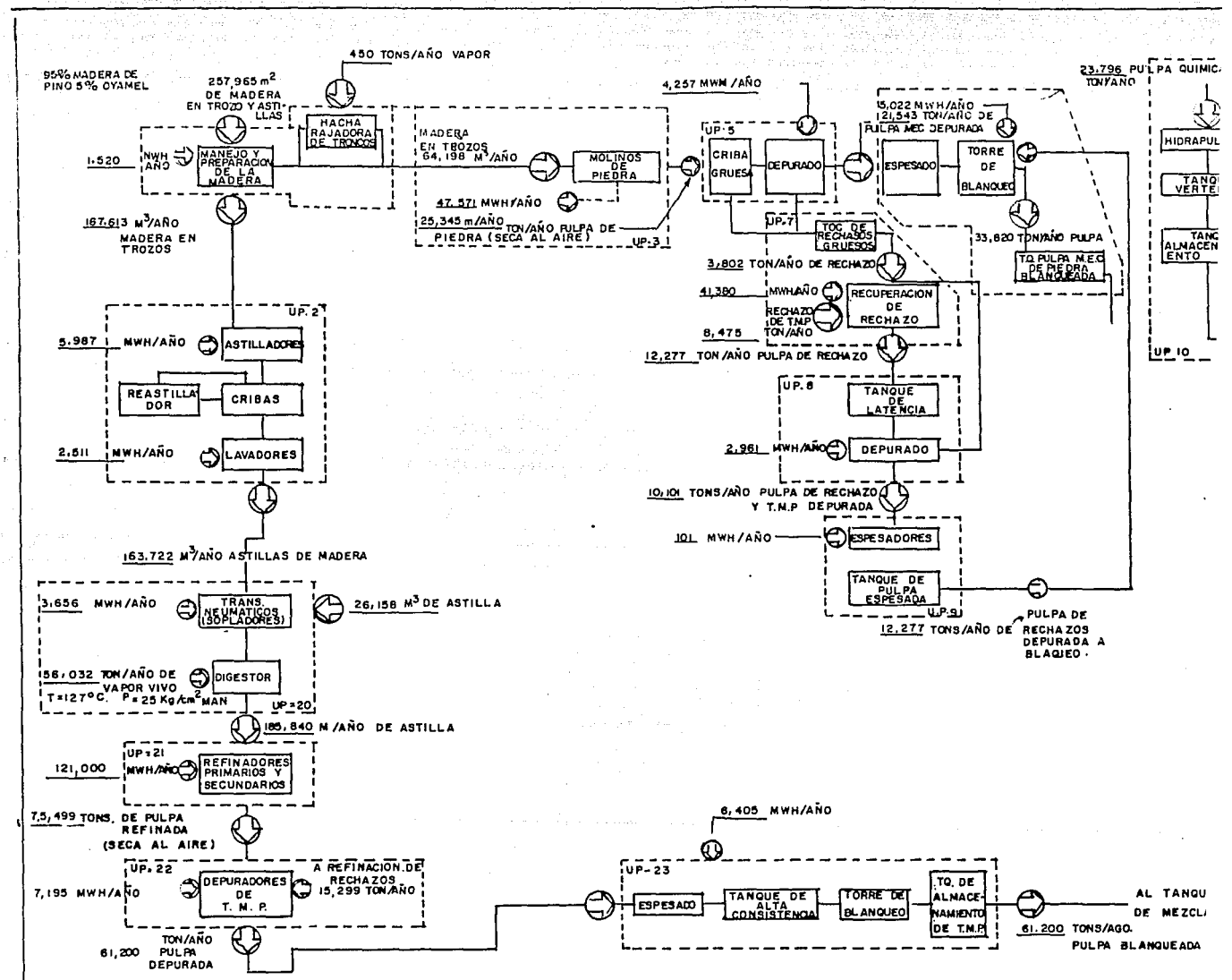


FIG. III. 4 PLANTA INTEGRADA QUE ELABORA PASTA Y TERMOMECANICA DE MADERA Y PAPEL CON GRAMAJE DE 45 – 55 grs/m²

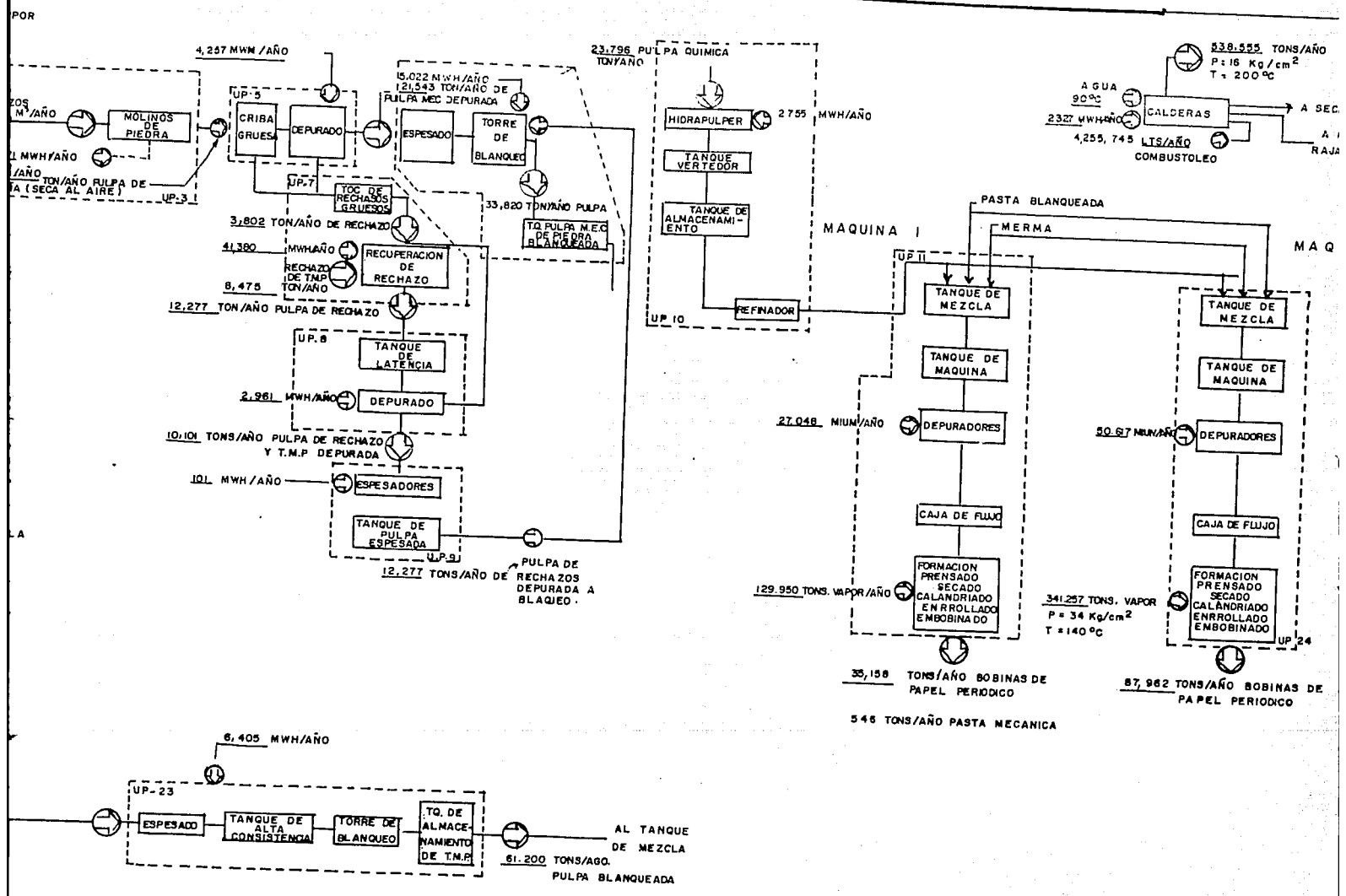
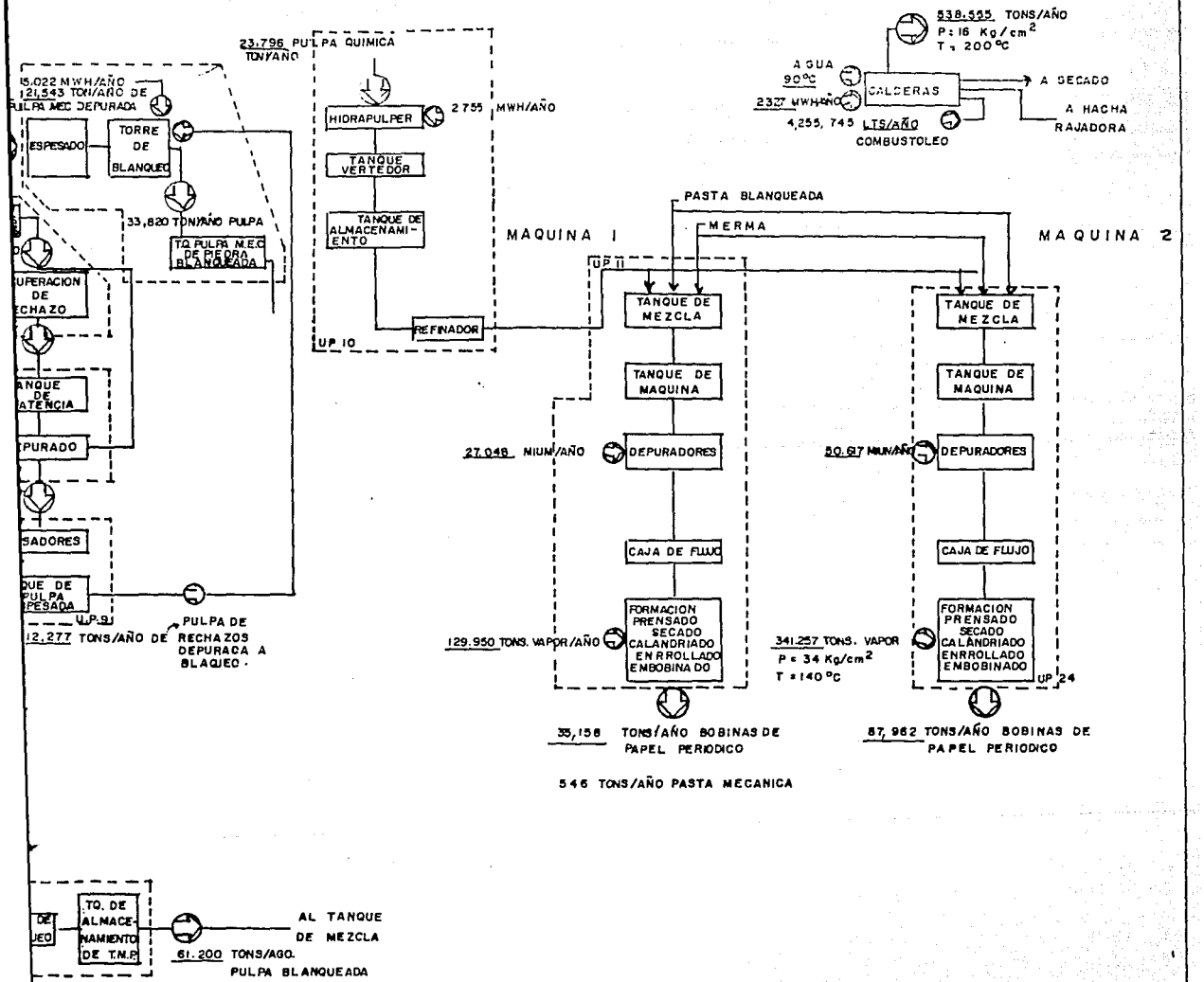


FIG. III.4 PLANTA INTEGRADA QUE ELABORA PASTA MECANICA Y TERMOMECANICA DE MADERA Y PAPEL PERIODICO CON GRAMAJE DE 45 – 55 grs/m^2



EGRADA QUE ELABORA PASTA MECANICA
CANICA DE MADERA Y PAPEL PERIODICO
JE DE 45 – 55 grs/m^2

Al comparar las plantas tipo 2 y 4 se observa que ambas utilizan como materia prima al bagazo de caña. Pero la planta 2 produce pasta química de bagazo blanqueada, papel tissué y de escritura e impresión. Mientras que la 4 produce celulosa química de bagazo semiblanca y papel periódico y para libro de texto.

Como se ve en el Cuadro III.13. el consumo asciende a 7.158 ton de vapor en la 2 contra 11.018 ton de vapor/ton de papel en la 4. También el consumo de electricidad es mayor en la 4: de 1.434 MWH contra 0.987 MWH/ton de papel. Por lo que se refiere al consumo directo de los hidrocarburos, es mayor en el caso 4 que en la planta 2.

Aparentemente estos datos son contradictorios pues se supone que los consumos de energía deben ser mayores en la planta 2, porque elabora celulosa blanqueada y papel tissue y de escritura, cuyos acabados consumen más energía que la celulosa semiblanqueada y el papel para periódico y libro de texto gratuito que, en México son bastante corrientes.

Esta contradicción aparente se debe a que en la planta 2 se consumen más hidrocarburos y más vapor, pero buena parte de ese combustóleo consumido de más es para producir vapor y ese vapor se emplea en gran parte para generar electricidad, de tal manera que en la planta 4 se autogenera el 68.3 % de la electricidad que se consume, lo cual representa un ahorro económico en el costo de la energía, y por lo tanto de la elaboración del papel.

En cambio en el caso 2, toda la electricidad que se consume se compra a CFE, claro que eso ahorra consumo de hidrocarburos y de vapor en la planta, pero la hace gastar más en la compra de energía eléctrica, lo cual, al final, hace más costosa su producción de papel, pues una de las ventajas de generar electricidad es que el vapor que se utiliza para ello, también se puede utilizar para el proceso.

Por último entre las plantas que producen papel a base de celulosa de madera y las que lo producen a partir de bagazo de caña, los resultados son los siguientes:

La planta que produce papel periódico a partir de celulosa mecánica de madera, consume 1.59 ton de vapor/ton de papel y 2.668 MWH. Y la planta que fábrica papel de bagazo de caña, consume 11.018 ton de vapor y 1.434 MWH por tonelada de papel. Como se ve consume menos electricidad, pero mucho más vapor, sin embargo recuérdese que en el último caso, mucho vapor se utiliza para cogenerar electricidad.

Sin embargo, en general sí se consume más energía en las plantas que producen celulosa y papel a base de bagazo, esto se debe en buena medida a la energía que se gasta para desmedular el bagazo y para secarlo, ya que en la mayoría de los casos llega a

las plantas de papel con bastante humedad. No obstante es más económica la producción de papel a base de bagazo porque en este proceso se utilizan menos reactivos que en el de madera.

No obstante, el uso de bagazo de caña para fabricar papel tiene la enorme ventaja de que aprovecha un subproducto de la industria azucarera y, sobre todo, que se trata de un producto biomásico de fácil renovación, es decir de un recurso renovable a corto plazo; en cambio la madera que proviene de los bosques es un recurso muy mal usado en México, y que se agota cada día más, de manera alarmante, aparte de que es un recurso cuya renovación tarda varios años y es más difícil.

Es muy difícil afirmar tajantemente que tal o cual proceso consume más o menos energía que tal otro, porque el consumo total en la elaboración de celulosa y/o papel, depende de múltiples factores como los siguientes: materia prima, tipo de celulosa, tipo de productos finales que se fabriquen, capacidad utilizada de la planta en cuestión, existencia o no de autogeneración de electricidad, tipo de combustibles utilizados, y desde luego, el grado de obsolescencia o de modernidad de la planta y de la tecnología que utiliza.

Por eso las comparaciones anteriores deben tomarse con suficiente reserva. Lo que sí se puede afirmar, sin temor a equivocación, es que para una misma tecnología, para una misma capacidad de planta utilizada, y para la misma materia prima, se necesita mayor cantidad de energía por unidad de producto terminado, cuanto más refinado, y de mayor calidad es dicho producto términado. Así, por ejemplo, se requiere más energía para producir una celulosa blanqueada que una semiblanqueada o sin blanquear; se consume más energía para elaborar un papel de impresión, de escritura, facial o de uso sanitario, que para un papel periódico o de envoltura.

III.5.3. ADMINISTRACION DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS SAN CRISTOBAL.

III.5.3.1. Administración de energía en una planta de Productos San Cristobal.

La planta de celulosa y papel denominada productos San Cristobal, ubicada en San Juan del Río, Querétaro, [Ref.16] llevó a cabo una serie de medidas que le permiten ahorrar alrededor de un millón de dólares al año en sus costos de energía consumida.

La planta de San Cristobal produce 900 ton de papel y celulosa diarias y cuenta con 3 calderas de recuperación con capacidad de 90 - 700, de 45 - 350 y de 22 - 675 Kg de vapor/hr; calentadas con licor negro y /ó combustóleo como auxiliar. También tiene 2 calderas de fuerza con capacidad de 72,560 Kg de vapor/hr. Unidas estas 5 calderas dan servicio a la generación de

electricidad a través de la alimentación a turbinas cogeneradoras y a todas las operaciones para elaborar la celulosa y el papel.

Como administra San Cristobal el consumo de energía.

Para resolver el problema tan complejo que involucra administrar óptimamente la energía, cuando se emplean diferentes energéticos, es necesario equilibrar el costo de combustibles en la generación de energía y el costo por día al comprar este servicio.

Productos San Cristobal decidió instalar una computadora propia para manejar la energía que consume. Mediante dicha computadora y 140 transmisores o sensores montados en campo, el sistema es capaz de realizar lo siguiente:

1o) Reducir el costo de la combinación compra y generación propia de electricidad, la energía gastada en la planta, compra de combustibles y vapor, pero sobre todo hacer bajar los costos de operación a tal grado que, con esos niveles de energía, fue posible cubrir la demanda de todos los procesos.

2o) Medir y calcular los costos de generar y comprar la energía dando así una base lógica para la toma de decisiones, además de despachar automaticamente los turbogeneradores.

3o) Facilitar la operación de la planta, de tal manera que use apropiadamente la planta y su equipo.

4o) Definir la máxima utilidad de la compra de energía extra programada para satisfacer los picos mensuales y los picos de las demandas parciales, controlando además el rendimiento de los turbogeneradores.

5o) Atender el despacho de las cargas de electricidad entre los 4 turbogeneradores para obtener el mínimo funcionamiento y gasto que cubriera dicha demanda y el vapor requerido para las operaciones de proceso.

6o) Obtener los datos diarios y mensuales día con día en reportes sencillos, creando un historial de funcionamiento de la planta.

Desarrollo del Plan de Ahorro de Energía en San Cristobal.

El sistema de ahorro en la planta San Cristóbal es un excelente ejemplo de como un sistema puede ser diseñado para futuros crecimientos. El proyecto fue instrumentado en dos fases: La primera incluyó la instalación de 40 transmisores de campo, los cuales efectuaron las mediciones en las líneas principales de los flujos de vapor de las calderas, retorno de condensados, utilización de vapor, kilowatts requeridos, utilización de electricidad y otros flujos de energía.

En realidad, el sistema instrumentado en ésta fase fue un sistema de contabilización de la energía en uso que monitoreó los flujos de la energía a través de todo el proceso de papel. Así se detectaron los picos y los valles en la demanda de energía, y haciendo cálculos capaces de reducir el vapor empleado por tonelada de papel producido, se obtuvo la clave para continuar e instrumentar la fase II.

La fase II involucró extensos sistemas para un manejo óptimo de la energía, dichos sistemas aunados al sistema de contabilidad de energía en uso, incluyeron programas referentes al despacho de calderas y al cálculo de su eficiencia; depacho de turbinas, balance del cabezal de vapor, control del alimentador eléctrico para cogeneración y monitoreo de las cargas de vapor y de electricidad. La operación de éstos se basa en la instalación de otros 100 transmisores montados en campo que proporcionan información extra de las mediciones de energía y las salidas energéticas de los procesos a la computadora.

FASE I.- Contabilización de la energía empleada.

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

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

1o) Por jornada, diario y del mes a la fecha, reportes sobre:

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

2o) Reportes sobre valores de mediciones individuales de vapor y electricidad.

3o) Despliegue de gráficas con el registro de los promedios de los últimos conocimientos de cualquier variable asignada.

III.5.3.2. Análisis Económico Comparativo entre el proceso de elaboración de papel a base de celulosa de madera y el proceso a base de celulosa de bagazo de caña.

Debido a que una parte importante del uso eficiente y ahorro de energia consiste en decidir el mejor método de producción de la celulosa o del papel, se da en seguida un ejemplo de análisis económico para seleccionar la opción más rentable. En general es más económico el proceso de elaboración de papel utilizando como materia prima el bagazo de caña y un proceso semiquímico-térmico para elaboración de la celulosa, que el proceso convencional que utiliza como materia prima la madera.

Pero dado que el análisis económico implica muchos cálculos y por ende espacio que no se tiene, aquí sólo se darán los datos más importantes de cada proceso, y sólo se hará para el consumo de vapor, no así para el consumo de energía eléctrica, porque se carece de los datos adecuados al respecto. El caso al que se refiere el análisis es el de la planta denominada Productos San Cristobal, de San Juan del Río Querétaro [Ref. Idem].

Este análisis económico se dividirá en dos partes, cálculo del costo de inversión fija y cálculo del costo de vapor por tonelada de papel producido.

Cálculo de costo de inversión fija.

Se calcula que el equipo representa sólo una parte de la inversión fija, a la cual hay que agregar el costo de la tecnología, los gastos de ingeniería, materiales como tubería,combustibles, etc, el porcentaje, la obra civil y los gastos de administración.

Según la memoria estadística de 1986 de la CNICP, para producir 900 ton métricas de papel al 8% de humedad por día considerando como materia prima el bagazo de caña, se requieren 295 millones de dólares como inversión fija, mientras que para producir la misma cantidad de papel utilizando madera como materia prima se requerirán como inversión fija 462 millones de dólares, lo cual evidencia una gran ventaja a favor del proceso semiquímico-térmico que utiliza bagazo de caña como materia prima.

El proceso que utiliza bagazo de caña también alcanza las características físicas de un papel producido a partir de celulosa de madera, algunas de esas características son un peso base de 52 gr/m^2; una blancura de 52-55° GE, y una capacidad del 87%.

Por otra parte debe hacerse notar que los costos por inversión fija no son comparables con otras plantas donde se utiliza el mismo proceso de fabricación de papel, porque los sistemas para servicio de vapor varian de planta a planta y

dependen de diferentes factores dentro de una misma planta, pues algunas tienen cogeneración y otras no, unas generan vapor de alta y baja presión y otras no, etc.

COSTO DE VAPOR POR TONELADA DE PAPEL PRODUCIDO.

Al costo de vapor por tonelada de papel producido se le denomina costo de producción, el cual se fija por los costos de combustibles, costos de energía eléctrica, costos de operación y costos de mantenimiento; esto se desglosa así:

Costos de combustible (Combustóleo)

Los requerimientos de combustóleo se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$M_c = \frac{V \cdot [\ H_v + (H_p/9) - (H_a/0.9)\ ]}{P_c * E}$$

donde:

		CANTIDAD	UNIDADES
M_c	= Gasto másico del combustóleo,	A determinar	Kg/hr.
V	= Producción de vapor	Por caso y caldera	Kg/hr.
H_v	= Entalpía del vapor producido	3 163.58	KJ/Kg.
H_b	= Entalpía de las purgas	1 103.89	KJ/Kg.
H_a	= Entalpía de agua de alimentación	508.33	KJ/Kg.
P_c	= Poder calorífico del combustible	42 335.24	KJ/Kg.
E	= Eficiencia de las calderas	85%.	

Una vez hecho el cálculo para las 5 calderas, se obtiene un total de 22 978.79 Kg de combustóleo/hr. Suponiendo un costo para el combustóleo de 0.12 $usd/Kg, el costo total sería de 66,179$ usd/día.

Costos de energía eléctrica.

Se tiene 1500 HP instalados y producen 1 118.6 KWh. El costo del KWh es de 0.1$usd/KWh, o sea el costo total unitario es de 2,684.5 $usd.

Costos de operación.

Se calcularan en base al salario de 35 obreros y 8 ingenieros, dando un total de 220.3$usd/día. (Son sueldos muy bajos).

Costos de mantenimiento.

Para el costo de mantenimiento se considera un 0.8% de la suma total de los conceptos: Costo de combustóleo + costo de energía eléctrica + costos de operación, lo cual da un total = 0.008 (66179 + 2684.5 + 220.3) = 552.87 $usd/día.

Total de costo de producción de vapor ($PV)
$PU = $ combustible = $ operación + $ mantenimiento.
$PV = 66179 +2684.5 + 220.3 + 552.17 = 69,636.47 usd/día.

Costo por tonelada de vapor producido = $TVP

$$\$TVP = \frac{69636.47 \text{ usd/día}}{6198.4 \text{ ton/día}} = 11.23 \text{ usd/ton de vapor}$$

$$\frac{\text{ton de vapor}}{\text{ton de papel}} = \frac{6198.4 \text{ ton de vapor/día}}{900 \text{ ton de papel/día}} = 6.89 \frac{\text{ton de vapor}}{\text{ton de papel}}$$

Costo de producción por concepto de vapor por tonelada de papel;

$$\$TVP * \frac{\text{ton de vapor}}{\text{ton papel}} = 11.23 \text{ usd/ton vapor} * 6.89 \frac{\text{ton vapor}}{\text{ton papel}}$$

$$\$TVP = 77.37 \text{ usd/ton de papel}$$

NOTA: Todos los cálculos anteriores se hicieron considerando que los valores de producción de vapor y consumos de combustóleo, se derivan de una operación normal del sistema.

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

$$\frac{\text{ton de vapor}}{\text{ton de papel}} = 6.16$$

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

$TVP =11.23 $usd/ton de vapor, igual al anterior.

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

$$\$TVP * \frac{\text{ton de vapor}}{\text{ton de papel}} = 11.23 * 6.16 = 69.18 \text{ usd/ton.}$$

CALCULO DEL COSTO DE REACTIVOS QUIMICOS.

Se calculará el costo de los reactivos químicos tomando en cuenta las siguientes bases:
a) Reactivo químico utilizable: Sosa en ambos procesos.

b) Rendimiento: proceso semiquímico-térmico = 68.57%
proceso de celulosa de madera = 55%

$$E = \frac{\text{tons de papel producido (secas)}}{\text{tons de materia prima utilizada.}}$$

c) Porcentaje de sosa alimentada: En el proceso semiquímico de bagazo es de 9% en base a la fibra seca utilizada y de 18% en el proceso convencional de madera.

d) Rendimiento de recuperación de reactivos: Ambos procesos tienen un sistema de recuperación de reactivos con un rendimiento del 88% .

e) Costos de la sosa: El costo de la sosa es de $ 680 usd/ton al 100% en peso.

CALCULO DEL COSTO DE REACTIVOS QUIMICOS PARA EL PROCESO SEMIQUIMICO-TERMICO.

$$\text{Tons de materia prima utilizada} = \frac{\text{tons. papel producido}}{E}$$

Tons de papel producido seco = 900 * 0.92 = 828 ton/día.

$$\text{Tons de materia prima utilizada} = \frac{828}{68.57} * 100 = 1207.53 \text{ ton de bagazo/día.}$$

Cantidad de sosa alimentada = 1207.53*0.09 = 108.68 ton sosa/día

Cantidad de sosa requerida = 108.68*0.88 = 95.64 ton sosa/día

Cantidad de sosa nueva de repuesto=108.68-95.64=13.04ton sosa/día

$$\frac{\text{tons. de sosa de repuesto}}{\text{tons. de papel producido}} = \frac{13.04}{900} = 0.01444 \text{ ton de sosa/día}$$

Costo por concepto de reactivos químicos por tonelada de papel producido en el proceso semiquímico-térmico.
Costo = 0.01449 * 680 = 9.85 $usd/ton de papel.

El cálculo del costo de reactivos químicos para el proceso convencional de madera se hace de manera similar al anterior, y da como resultado 24.57 usd/ton de papel.

El cuadro III.14 da la comparación entre el proceso semiquímico-térmico y el proceso convencional de madera, en lo que se refiere a concepto de servicio de papel incluyendo el costo de reactivos químicos utilizados.

CUADRO III.14.
RESUMEN DE COSTO POR VAPOR Y REACTIVOS QUIMICOS.

PROCESO	ton vapor / ton papel	$ usd / ton vapor	Costo vapor / ton papel	$Reactivos / ton papel	$ usd total
SQ-T	6.89	11.23	77.37	9.85	87.22
Madera	6.16	11.23	69.18	24.57	93.75

Como se observa, resulta más económico el proceso semiquímico-térmico, por una diferencia de $ 6.53 usd/día por tonelada de vapor producido, lo cual da un total de $ 238 usd/ton de papel anuales ahorrados, que para una producción de 900 ton/día daría un ahorro total de $ 21469.05 usd/día.

Además el costo por manejo y recuperación de reactivos químicos es mayor para el proceso convencional de madera, pues se requiere de una mayor cantidad de reactivos químicos, aunado a estas ventajas se tiene el hecho de que el bagazo de caña es un subproducto de la industria azucarera facilmente obtenible pues es un recurso que se renova cada año, no así la madera que cada día se escaséa más y su ciclo de renovación va de 30 a 40 años.

Con este análisis se tiene una idea clara de las ventajas económicas de un proceso frente a otro, pero para tener una comparación más precisa, se tendrían que analizar todas las áreas que integran una planta.

CAPITULO V

INSTRUMENTACION DE UN PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE ENERGIA.....

La inmortalidad del hombre no es un mito es una realidad que permanece oculta solo para los ignorantes.

JOSE MARIN MARIN

CAPITULO IV. MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA.

IV.1. MEDIDAS PARA EL USO EFICIENTE Y EL AHORRO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL.

IV.1.1. Antecedentes.

No obstante que México posee abundantes recursos energéticos, sobre todo hidrocarburos, existe la amenaza latente de su escasez, pues la abundancia ha propiciado un gran derroche de energía y que su uso en la industria sea ineficiente. Pues, como ya se dijo, la elasticidad del consumo de energía por unidad de producto interno bruto (PIB), en los últimos años ha sido de 1.5, que fue superior a la observada en la primera parte de la década anterior, ya que en ésta fue de 1.2, y comparada con los países industrializados es altísima, ya que en ellos la elasticidad es de 0.5 unidades de energía por cada unidad de PIB.

Además, la energía que se consume en el país, proviene en un 91% (en 1989) de los hidrocarburos. Esto constituye una situación peligrosa e indeseable, pues es necesario conservar lo más posible nuestros hidrocarburos para el futuro en que se escasearán a nivel nacional e internacional. Además, en vez de quemarlos como combustible, conviene utilizarlos mejor como materia prima en la petroquímica, lo cual daría mejores ganancias. Por otra parte la escasez de recursos financieros ha impedido que se siga invirtiendo en exploración y en producción de crudo, al ritmo que se requiere.

La inversión de PEMEX en este renglón tuvo una caída drástica de 5,500 millones de dólares en 1981 a 820 millones en 1988, esto ha ocasionado que nuestras reservas probadas hayan disminuído, sin poder ser aumentadas, desde 72,000 millones de barriles hasta 65,500 millones de barriles al día primero de enero de 1991, según datos oficiales de PEMEX [Ref.1].

Por todas las razones anteriores es urgente la puesta en marcha de un programa de diversificación de fuentes de energía, para que ésta no gravite tan fuertemente sobre los hidrocarburos, y de un programa de uso racional y ahorro de energía. En este último sentido, el gobierno mexicano ha tomado la iniciativa en este sexenio, y como parte del Programa Nacional de Modernización Energética (PNME) 1990-1994, [Ref. 2] se ha propuesto llevar a cabo un programa de ahorro y uso eficiente de energía, que en general contempla las acciones que se mencionan a continuación.

En el país existe un potencial para el ahorro de energía calculado en 300 mil barriles diarios de petróleo crudo equivalente. Las áreas de acción prioritarias son la industria, el transporte y el propio sector energético.

El gobierno mexicano ha decidido que el mayor peso de las acciones del ahorro de energía deberá ser absorbido por los propios consumidores, y que en este esfuerzo de ahorro de energía las empresas paraestatales deberán ir a la vanguardia. Un paso muy importante en la política de ahorro de energía se dió con la creación, mediante acuerdo presidencial del 26 de septiembre de 1989, de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

La Comisión funge como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la administración pública federal, de los gobiernos estatales y municipales y de los partículares en cuestiones de ahorro y uso eficiente de energía, y constituye una instancia de concertación en la materia entre todos los sectores involucrados. Los lineamientos principales para el ahorro y uso eficiente que plantea la CONAE son los siguientes:

- Tomar en cuenta en la política de precios y tarifas de los energéticos, los propósitos de ahorro de energéticos. Se buscará que todos los productos incorporen a su precio sus costos de producción y suministro y se evitará que se registren deterioros en términos reales.

- Se prestará atención específica en algunas áreas que ya son difíciles como el bombeo agrícola y el consumo doméstico de electricidad en zonas de verano muy cálido. En casos como estos es necesario explicitar los subsidios para canalizarlos de manera transparente al mejoramiento de la eficiencia energética.

- Estudiar la posibilidad de establecer estímulos fiscales para apoyar el ahorro energético.

- Realizar diagnósticos energéticos en los sectores industrial y de transporte que son los que presentan los mayores consumos.

- Reglamentar en detalle mecanismos que promuevan la autogeneración, pues se estíma que la industria nacional puede generar 10 TWH de electricidad, a la vez que resolver sus necesidades de vapor de proceso.

- Establecer normas de eficiencia para los principales aparatos que utilizan energía.

- Promover campañas de concientización e información al público, e incluir el ahorro de energía en los programas de estudio de nivel básico.

Además, el ahorro de energía no debe ser una moda más, sino un propósito permanente que modifique los hábitos de consumo, para enraizar en nuestro país una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía. Todos los logros que se obtengan en este renglón contribuirán a incrementar la productividad nacional, y por lo tanto la competencia económica en el exterior.

Es necesario, por otra parte, incrementar la inversión en el sector energético, para que éste pueda atender la demanda que le plantea el desarrollo del mercado energético nacional. Habrá que buscar la manera más adecuada de financiar a este sector, que es intensivo en capital, y que tiene largos períodos de maduración. Tomando en cuenta la escasez de divisas, a PEMEX se le deben dejar más ingresos libres de impuestos para que los invierta en ampliar sus instalaciones, en medidas de ahorro de energía y en exploración y mantenimiento.

La política de precios y tarifas puede ser un instrumento muy importante para inducir el ahorro de la energía; pero impacta los índices de precios, así como diversas actividades productivas; por lo anterior deben equilibrarse los aspectos financieros con los aspectos sociales y políticos, para que las tarifas de los energéticos no sean el detonador de aumentos en la inflación, como muchas veces ha ocurrido en nuestro país. También se deben tomar en cuenta los precios internacionales, para que se tenga competitividad en el marco de la apertura comercial.

Precisamente como parte de la puesta en marcha de las medidas y políticas de ahorro de energía, la Comisión Federal de Eectricidad (CFE) ha elaborado un programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) que tendrá repercusiones tanto internas como externas [Ref. 17] al sector eléctrico. Los objetivos fundamentales de ese programa son:

a) Generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica con los mínimos costos y consumos de energéticos primarios.

b) Optimizar el uso de la energía eléctrica, tanto en la producción de bienes y servicios como en su aprovechamiento para usos finales.

Las estrategias del PAESE son una política tarifaria que induzca al ahorro de energía; promover reglamentos y normas que mejoren la eficiencia en el uso de la energía. Coadyuvar en la consecusión de apoyos, incentivos y créditos para promover la inversión en equipos y sistemas más eficientes. Concertación para lograr la participación activa de la comunidad. Compromiso del sector público en la promoción y cumplimiento del programa. Concientizar y orientar al usuario.

Los beneficios esperados para el consumidor son: aumentar la disponibilidad y calidad del servicio de energía eléctrica; reducir el importe del consumo; preservar o mejorar los niveles de bienestar, y evitarle insuficiencias en el suministro de energía eléctrica. En resumen, el programa pretende alcanzar un ahorro de energía eléctrica de 2,360 GWH para el año de 1994, equivalentes al 1.6% de la generación neta estimada para ese mismo año (Cuadro IV.1).

CUADRO IV.1.
METAS DE AHORRO DE ENERGIA DEL PAESE PARA 1994.

SUBPROGRAMAS ESPECIFICOS	GWH	AHORRO (%)
INTERNOS		
Optimización de usos propios en central.	30	2.3 %
Reducción de pérdidas de transmisión.	450	19.0 %
Subtotal	480	20.3 %
EXTERNOS		
Doméstico	179	7.6 %
Comercial y de servicios priv.	102	4.3 %
Servicio general público	28	1.2 %
Servicios Municipales	126	5.3 %
Riego agrícola	348	14.8 %
Industrial	1097	46.5 %
Subtotal	1,880	97.7 %
TOTAL=Interno + Externo =	2,360	100.0 %

FUENTE: PAESE, CFE. 1990. [Ref. 17].

Por considerarlo de interés para este trabajo, también se mencionan las principales acciones que se propone realizar el programa en el sector industrial: diagnósticos energéticos a empresas de Nuevo León y de Coahuila; a las siderúrgicas y químicas en la zona metropolitana del Distrito Federal, y en Tlaxcala y Jalisco; Proyectos de demostración en industrias: material y equipo eléctrico. Celulosa, papel y editoriales. Concertación con la Asociación Industrial Vallejo,la Canacero, la Asociación de Industriales de Tlalnepantla, y la Cámara Nacional de Empresas de Consultoría.

En autogeneración y cogeneración se pretende formar 18 grupos de trabajo en sitios con excedentes utilizables de 186 MW; establecer convenios con PEMEX, XAFRA, AZUCAR, S.A., PEGI, APSA, y otras empresas; y aprovechar los excedentes del D.D.F., e interconexión con Petroquímica Independiente, para ahorrar 14 MW.

En comunicación social se hará la elaboración y distribución de trípticos de orientación a usuarios en general y en especial para los de clima cálido.Inserción de desplegados periodísticos y transmisión de mensajes en la radio y la televisión.

Lo anterior constituye el programa de ahorro de energía para el sector eléctrico. En términos generales hacen falta planes similares para auspiciar el ahorro de energía en ramas como la siderurgia, cemento, química y petroquímica.

IV.1.2. Posibilidades y Medidas para el Ahorro de Energía en la Industria de la Celulosa y el Papel (ICP).

Como se desprende del PNME 1990-1994 y del programa de ahorro de energía del sector eléctrico, una de las áreas prioritarias para aplicar el ahorro de energía es la industria en general, y en particular las industrias de uso intensivo de la energía, entre las que se cuenta la industria de la celulosa y el papel (ICP).

En este apartado se darán algunos datos de los consumos de energía en la ICP y después se anotarán algunas medidas que pueden tomarse para ahorrar energía en esta importante rama industrial.

El consumo de energía depende en gran medida del tipo de papel que se esté elaborando en una planta. En general, los papeles sanitarios y faciales, así como los de escritura e impresión son los que tienen un mayor consumo específico de energía. Esto se debe a su mayor grado de elaboración, y a que el papel para escritura e impresión generalmente requiere de celulosas blanqueadas y de un brillo y pulído especial que alargan el proceso de fabricación y, por lo tanto, incrementan el consumo de energía.

La industria de la celulosa [Ref.6] y el papel es una de las que más energía consumen, y está considerada en cuarto lugar después de la siderúrgica, la química y la petroquímica.

En el costo de producción en la ICP, del 15 al 20 % se debe al consumo de energía, y de ese valor la energía eléctrica representa casi la tercera parte.

En 1985 los países de la Organzación para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) tuvieron en la ICP un consumo específico de energía de 0.43 TEP (toneladas de petróleo crudo equivalente) por tonelada de papel producido, este valor incluye todo tipo de energía (gas, combustóleo, vapor, electricidad, etc.).

En México se tuvo un valor de 0.45 TEP muy cercano al anterior, no obstante entre diferentes países existen marcadas diferencias, derivadas de su estructura de producción celulosa-papel, de los tipos de papel que fabrican, de la capacidad instalada de la planta, del grado de aprovechamiento de la misma, así como de las tecnologías utilizadas.

Cuando se consideran los consumos específicos de energía en la ICP, se incluye también la parte referente a la producción de celulosa, por lo tanto, un país que tenga menos depedencia en la importación de celulosa dará la impresión de tener mayores consumos específicos de energía, pero en realidad muchas veces no

los tiene. Esta situación se presentó en el Cuadro II.4. Lo que muestra que existe una correlación clara entre el grado de independencia en el suministro de celulosa* y el consumo específico de energía.

$$*= \text{es decir} \qquad g.i.s.c. = \frac{\text{celulosa producida}}{\text{celulosa consumida}} \times 100$$

Como se mencionó en el capitulo II Canadá, Finlandia y Suecia, son exportadores netos de celulosa, tienen mayores consumos específicos que aquellos países que son importadores de celulosa, como Francia, Italia, Japón y la R.F.A..

En ese año 1985, el grado de independencia en el suministro de celulosa (g.i.s.c.) de México fue del 83%, con un consumo específico promedio de 0.45 TEP/ton de papel, consumo que comparativamente lo sitúa al lado de Japón, en cuanto al g.i.s.c. pero en cuanto al consumo específico de energía el de México es mucho mayor que el de Japón, o sea 0.45 contra 0.38.

En el Cuadro II.5. se muestran los consumos específicos de electricidad y de vapor extremos para diferentes tipos de papel fabricados por los países de la Comunidad Económica Europea (CEE).

La amplia diferencia entre los consumos mínimos y máximos se debe generalmente al tipo de tecnología empleada en cada país. México tiene diferencias en los consumos específicos entre las plantas que van desde 1 a 10 hasta 1 a 160, debido a que coexisten equipos muy modernos de tecnología avanzada, junto a otros muy antiguos, obsoletos y de baja capacidad. Estas comparaciones pueden observarse en el cuadro II.6.

Se puede concluir que no hay un patrón uniforme que se pueda aplicar a las plantas de papel en cuanto al consumo específico de energía se refiere, pero sí es posible tener indicadores de los consumos específicos por planta y observar la evolución de tales indicadores en la misma planta, cuando se aplican medidas de uso eficiente y ahorro de energía.

De acuerdo con un estudio reciente de la SEMIP, las medidas de ahorro que en México pueden instrumentarse en la ICP se pueden agrupar en 4 vertientes [Ref. 6].

+ Medidas indirectas.
+ Programas para automatización y control en las plantas.
+ Programas de mantenimiento.
+ Nuevas tecnologías.

Las medidas indirectas son las que no están orientadas principalmente a ahorrar energía, sino más bien al aumento de la

velocidad de las máquinas de producción, a la reducción de pérdidas de producción, a la diversificación de los productos finales y de las fuentes de abastecimiento de materia prima, y al aumento de la utilización de la capacidad instalada. Cuando se aplican estas medidas, contribuyen a mejorar los consumos específicos de energía y a elevar la productividad de las plantas de producción.

Es un hecho comprobado que la realización continua de programas de mantenimiento preventivo contribuyen en alto grado al ahorro de energía, pues reducen el número y la duración de los paros de la planta no programados y con ello el de los consumos específicos de energía.

Cuando estos programas tienen por objeto, además del control de la producción, la administración de la misma, proporcionan la información necesaria sobre los flujos y consumos de energía en la planta. Con esta información es posible implantar las medidas adecuadas de ahorro de energía y, tener un mecanismo de seguimiento y de evaluación de las mismas.

Los estudios macroeconómicos sobre la demanda nacional y de exportaciones de los diferentes tipos de papel, sus precios, el costo de los energéticos, y de las materias primas para elaboración de celulosa y papel han permitido construir diferentes tipos de escenarios de demanda de papeles y cartones en México como los que se muestran en los Cuadros IV.2, IV.3, IV.4. y IV.5.

El Cuadro IV.2. presenta las previsiones futuras de la demanda de papel en los años de 1994 y 2000. En un escenario de consumo elevado la demanda total del año de 1994 alcanzaría una cifra de 3.2 millones de toneladas anuales, 39% superior a la consumida en 1984 que fue de 2.3 millones de toneladas; y para el año 2000 la demanda de papel sería de aproximadamente 4.07 millones de toneladas, 75% más elevada que en 1984.

Con el escenario de referencia o con el más probable, estos valores ascenderían a 2.9 millones en 1994 y a 3.5 millones en el año 2000, es decir, 26 y 52% más elevados que en 1984.

Por tipos de papel, el de embalaje seguirá siendo el principal producto dentro de la producción nacional (42%).

El Cuadro IV.3. muestra un resumen de los posibles incrementos de los precios de materias primas usadas en la ICP y de los energéticos, los cuales fueron empleados para los cálculos del estudio de referencia.

Se observa que el aumento del costo de las materias primas es muy acelerado en el caso del bagazo de caña y relativamente lento en la madera, lo cual se contrapone a la experiencia real

ya que el primer producto es un subproducto de la industria azucarera, y debería ser más barato que la madera.

En el cuadro IV.5. se puede apreciar como, si se aplicaran programas de uso racional de la energía, los consumos específicos de energía primaria tienden a disminuir con el tiempo. Esta reducción se nota más en el escenario alto donde en el año 2000 se tendrá una disminución del 9.3 % respecto al año base de 1984. En cambio en el escenario de referencia se tendría un ahorro del 6.2 %, y en el escenario bajo del 5.5 % para el mismo año de referencia, 1984.

CUADRO IV.2.
EVOLUCION DE LA DEMANDA DE PAPELES Y CARTONES EN MEXICO DE ACUERDO A DIFERENTES ESCENARIOS (10^3 TON)

	papel periódico	otros papeles impres.		papeles de embalaje		cartones de embala	papeles sanitarios		papeles especiales
	d.nac.	d.n.	exp	d.n.	exp	d.nac.	d.n	exp	d.nac.
escenario alto									
1994	493.9	507	60	1291.3	40	353.6	314.7	70	77.2
2000	628.9	627.7	100	1627.2	80	454.7	369.6	100	87.3
escenario de referencia									
1994	472.0	484.2	20	1233.6	20	337.7	300.7	40	73.8
2000	575.8	574.8	20	1490.2	20	416.3	338.6	40	80.7
escenario bajo									
1994	441.0	452.6	10	1152.9	10	315.7	281.0	20	68.8
2000	509.4	508.4	10	1317.8	10	368.3	299.4	20	70.7

FUENTE: Consumo de energía en la industria, SEMIP, 1988.

CUADRO IV.3.
PRECIOS DE ENERGETICOS Y DE MATERIAS PRIMAS

PRODUCTOS	PERIODOS		
	1988	1994	2000
ENERGIA			
Electricidad (pesos 80/KWH)	0.680	0.857	0.965
Gas natural (pesos 80/TEP)	3856.5	5168.1	6925.8
Combustóleo (pesos 80/TEP)	1928.3	2584.0	3462.9
MATERIAS PRIMAS			
Madera (pesos 84/ton)	3902.3	4142.3	4392.2
Bagazo (pesos 84/ton)	5973.5	8005.4	10728.0
Papel reciclado(pesos 84/ton)	15462.3	15462.3	15462.3

FUENTE: Consumo de energía en la industria, SEMIP, 1988.

CUADRO IV.4.
PRECIOS DE IMPORTACION DE LOS PRODUCTOS PAPELEROS.

PRODUCTOS	PERIODOS		
	1988	1994	2000
	(Pesos 84 x 10^3/ton)		
CELULOSA			
Química blanquea	64.675	64.675	64.675
Química cruda	64.675	64.675	64.675
Mecánica	38.139	38.139	38.139
PAPELES Y CARTONES			
p. periódico	206.720	206.720	206.720
p. escritura	223.602	223.602	223.602
p. embalaje	201.242	201.242	201.242
c. embalaje	142.171	142.171	142.171
p. sanitario	313.602	313.602	313.602
p. diversos	558.086	558.086	558.086

FUENTE: Consumo de energía en la industria, SEMIP, 1988.

CUADRO IV.5.
RESUMEN DE DESARROLLO DE ESCENARIOS PARA LOS CASOS DE BASE

	AÑO BASE	ESCENARIOS					
		BAJO		DE REFRENCIA		ALTO	
	1984	1994	2000	1994	2000	1994	2000
PRODUCCION TOTAL(KTON)	2318.4	2672	3114	2982	3556.2	3207.7	4075.4
CONSUMO TOTAL DE COMBUSTOLEO (Tcal)	4386	5588	6272	6033	7125	5401	7922
CONSUMO TOTAL DE GAS(Tcal)	4808	3725	4161	4022	4750	4267	6281
CONSUMO TOTAL DE ELECTRICIDAD DE LA RED CENT.(Tcal)	3706	5347	6087	5876	7108	6306	9054
PRODUCTOS DE RECU-PERACION (Tcal)	2261	2300	2699	2383	2815	2414	2922
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA PRIMARIA(Tcal)	15161	16960	19230	18294	21798	19388	24179
CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA PRIMARIA (Kcal/kg)	6539	6162	6178	6135	6130	6044	5933

FUENTE: Consumo de energía en la industria, SEMIP, 1988.

El ahorro de energía en el año 2000 se debería principalmente a la sustitución de equipo y maquinaria obsoletos o viejos, por otros nuevos de tecnología más avanzada y eficiente en el consumo de energía. Pero estos consumos energéticos podrían verse afectados por el cambio en la estructura productiva, al lograrse una mayor independencia en la producción de celulosa.

Es muy difícil poder calcular los costos de inversión para la aplicación de medidas de ahorro de energía y más aún de las economías que se pudieran lograr.

Debido a lo complejo de este tipo de industrias, se recomienda, antes que nada, hacer pequeñas inversiones en equipos de medición y control; establecer programas de consolidación, de capacitación técnica y administrativa de su personal, y hasta entonces intentar las adecuaciones y cambios tecnológicos.

Sin embargo, las inversiones en equipos de medición que se hacen en los países industrializados, con objeto de mejorar el consumo de energía en las industrias de celulosa y papel, fluctúan entre el 1 y el 3 % de los gastos totales en energía que tiene el sector papelero y son recuperables en menos de un año.

Pero hay otras medidas de ahorro de energía que demandan inversiones mayores, como son los recuperadores de calor y la autogeneración de electricidad, cuyos períodos de amortización sobrepasan los 3 años. A grandes rasgos y de manera muy general , en cualquier planta del sector se podrían implantar las siguientes medidas de ahorro de energía, como las siguientes:

+ Reducción de los consumos específicos de electricidad, de vapor y de energía térmica.

+ Aumento o inicio de la cogeneración de electricidad. Estas medidas se ven con detalle en incisos subsecuentes de este capítulo.

Los principales resultados prospectivos de la aplicación de las medidas anteriores, pueden observarse en la figura IV.1. para el escenario retrospectivo. Los consumos específicos de energía podrían reducirse en promedio anual de 9.8% entre 1988 y el año 2000.

La industria de la celulosa y el papel en México tiene algunas características muy peculiares y propias del país, y otras son similares a las de otros países del mundo.

Las características que nuestra industria papelera tiene en común con las del mundo, son las siguientes:

- Es intensiva en el uso de capital y de consumo de energía.

- Utiliza grandes volúmenes de papel reciclado en la fabricación de papeles.
- Es altamente sensible a los precios de la materia prima y de la energía.
- Produce una gran diversidad de productos terminados, cada uno de los cuales tiene un consumo específico de energía muy diferente.

Entre las características propiamente nacionales de la industria papelera, se pueden enumerar las siguientes:

- Tiene una dependencia en la importación de celulosa, que cada día va en aumento.
- Utiliza con bastante eficiencia el bagazo de caña de azúcar como materia prima para la elaboración de celulosa.

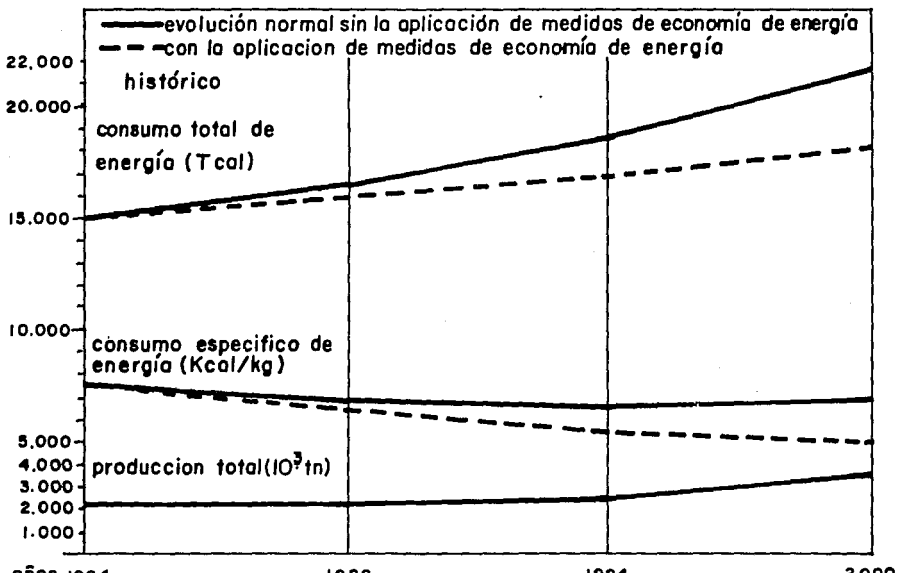


FIG. IV. I. NIVELES DE PRODUCCION, CONSUMO TOTAL Y ESPECIFICO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA MEXICANA DEL PAPEL (1984 – 2000)

El bagazo de caña existe en abundancia en México, y la tecnología para convertirlo en celulosa se domina eficazmente y esto podría constituir una magnifica solución al problema de la creciente importación de celulosa.

Por lo tanto cualquier comparación de consumos específicos de energía por producto términado, entre diferentes países y México, debe de tener en cuenta las características ya mencionadas, y otros factores como los siguientes:

El grado de independencia de la industria con respecto a la importación de celulosa, pues a mayor grado de independencia, mayor consumo de energía, ya que en las estadísticas se incluye la energía utilizada en la elaboración de celulosa.

Otro factor es la estructura de los productos finales que se elaboren, pues la fabricación de algunos tipos de papel para impresión o de papel sanitario, consumen más energía que los papeles y cartones de embalaje. También influyen el tamaño de la planta y su nivel de utilización, así como el tipo de materia prima empleado, como papel reciclado o celulosa, pues algunos tipos de ésta, como la celulosa mecánica consumen más energía, pero tienen mayor rendimiento por unidad de materia prima consumida.

IV.2. MEDIDAS INDIRECTAS DE AHORRO DE ENERGIA EN LA ICP.

Dentro de la industria papelera mexicana, se pueden establecer [Ref.6] las siguientes medidas de ahorro de energía:

+ Medidas indirectas de ahorro de energía.
+ Programas de mantenimiento de la planta en general.
+ Programas de automatización y control.
+ Utilización de nuevas tecnologías.

Las medidas indirectas son las que no tienen por objeto principal o específico, el ahorro de energía sino que están orientadas a:

+ Incrementar la utilización de la capacidad instalada de la planta.
+ Aumentar la velocidad de las máquinas de producción, y mejorar la productividad de la planta en general.
+ Reducir las pérdidas de producción.
+ Diversificar los tipos de productos finales que se fabrican en la planta.
+ Diversificar las fuentes de materias primas, para consumir las que den mejores resultados desde el punto de vista energético, sin bajar la calidad de los productos.

Cuando se aplican estas medidas indirectas contribuyen a mejorar los consumos específicos de energía y a elevar la productividad de las instalaciones.

Está comprobado que el llevar a la práctica continuamente programas de mantenimiento preventivo contribuye en gran parte a ahorrar energía, pues reducen el número y gravedad de los paros de la planta no programados, y con ello el de los consumos específicos de energía.

Los proyectos de ahorro de energía exigen un esfuerzo especial de parte de la organización, como es la formación de un equipo técnico permanente que se encargue de administrar todos los aspectos relacionados con el consumo y producción de energía en la planta y establezca los programas de ahorro en la misma.

IV.3. MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA ESPECIFICAS EN LAS PLANTAS DE CELULOSA Y PAPEL.

Las medidas de ahorro específicas para la ICP pueden agruparse en cuatro tipos:

a) Medidas para el uso eficiente del vapor.
b) Medidas para el uso eficiente de la energía eléctrica.
c) Medidas para el uso eficiente de la energía térmica.
d) Cogeneración de electricidad.

IV.3.1. Medidas para el ahorro de energía en el uso del vapor.

El vapor de agua es una parte muy importante [Ref.18] de la mayoría de los procesos de producción actuales. Su utilización en la ICP reviste múltiples aspectos que es necesario tomar en cuenta si se quiere disminuir su consumo y por lo tanto su costo de producción.

En las plantas de la ICP el consumo de energía térmica y eléctrica es muy alto, por lo tanto es conveniente tomar algunas medidas para utilizar el vapor en la ICP de la manera más eficiente posible.

Principales usos del vapor en una planta de celulosa y papel.

A grandes razgos en una planta productora de celulosa, el vapor se emplea para la digestión y el blanqueo en su caso de las pastas químicas, las mecánicas no consumen vapor. En la [Ref. 18] producción de celulosa de madera, puede generarse una parte importante de los requerimientos de vapor quemando el licor negro en calderas especiales, con lo cual se recuperan simultaneamente energía térmica y reactivos químicos.

En la elaboración de celulosa de bagazo de caña, la recuperación es más dificil debido al bajo contenido de materia

orgánica del licor negro, y a la gran cantidad de sílice que contiene dicho licor.

En los procesos de elaboración de celulosa a partir de fibras secundarias se puede requerir algo de vapor, sobre todo en el proceso de desfibrado, de dispersión en caliente y de destintado.

En general los niveles de presión y temperatura, así como la cantidad de vapor que se requiere varían sensiblemente en cada tipo de proceso, igualmente sucede con la recuperación de condensados.

En la fabricación de papel también se utiliza el vapor. Este insumo se utiliza principalmente para el secado, y en cantidades pequeñas se emplea para calentar soluciones y para mejorar el acabado en las calandrias.

Para el secado se utiliza siempre vapor saturado, pues no es conveniente el uso de vapor sobrecalentado. Una ventaja que se tiene en estos procesos con miras al ahorro de energía, es que la recuperación de condensados es tan alta que puede llegar al 99% del vapor utilizado. En las máquinas de hacer papel modernas, una parte del calor de secado se suministra a través de aire caliente. Por otra parte el uso de regaderas de vapor en la mesa de formación y en la parte húmeda del proceso es muy común, pero en este caso no hay recuperación de condensado.

Otro uso del vapor que cada día cobra más importancia en la ICP, es en la llamada cogeneración, o sea la producción conjunta y simultánea de vapor de proceso y energía eléctrica en una misma planta. Este es el sistema más eficiente para aprovechar mejor la energía térmica de los combustibles y por ende para ahorrar energía, sin embargo también es la medida de ahorro de energía que requiere mayores inversiones. Dada la importancia de la cogeneración se revisa más detalladamente en un inciso aparte.

Para cogenerar, generalmente se produce vapor sobrecalentado a 30 y 65 kg/cm^2 y temperaturas de 300 a 450^oC. Es conveniente aclarar que al cogenerar no se aumenta la eficiencia térmica de una caldera, ni se ahorra combustible por ese sólo hecho. Pero sí se aumenta considerablemente la eficiencia total del sistema energético, lográndose importantes ahorros en los costos globales de la energía que consume una planta de celulosa y papel.

Medidas de uso eficiente del vapor que procede tomar en la elaboración de celulosa.

a) No utilizar vapor vivo en el digestor. Esta medida requiere del uso de cambiadores de calor externos y de bombas de circulación. Sin embargo, el uso de calentadores externos tiene grandes ventajas, tanto desde el punto de vista energético como

en mejor control de la digestión y en reducción de los tiempos de operación.

b) Utilizar el vapor soplado (Blow-Tank) para calentar el agua de lavado. Esto puede ahorrar de un 4 a 5% de combustible.

c) Aislar adecuadamente las tuberías que conducen vapor y el digestor. Las plantas de celulosa tienen una superficie de radiación muy grande que frecuentemente no está bien aislada, por lo tanto se debe aislar correctamente.

En un digestor mediano, el área de radiación puede ser de 100 a 120 m^2 lo que significa una pérdida de calor equivalente a 1000 ó 1,200 kgs de vapor por hora, si tiene aislamiento inadecuado, de 1" de espesor.

En cambio si se usa un aislamiento de fibra de vidrio de 2 y 1/2" (64mm) puede ahorrar un 3 ó 4% de combustible en un caso similar.

d) Sustituir las trampas de vapor en los cambiadores de licor negro por receptores de condensación con bomba de retorno, y cámara de flash, con reinyección de vapor a los cambiadores de calor. Esto puede ahorrar de 1 a 22%, de combustible. Pero comunmente no es económico en instalaciones pequeñas.

Además existe otra medida que puede tomarse para ahorrar vapor y es la sustitución de todas las trampas de la planta por tubos Venturi modificados, de esto se escribe por separado.

Medidas para el ahorro de vapor en los procesos de elaboración de papel.

El uso de vapor directo en el hidrapulper es eficiente desde el punto de vista termodinámico, pues se aprovecha hasta un 80% de calor latente del vapor; pero no puede recuperarse el condensado. En un hidrapulper normal que trabaje con una consistencia de la pulpa del 4%, se utiliza el equivalente a 100-150kgs de combustible por tonelada de fibras, subiendo la temperatura desde 20 hasta 70°C. Una solución a este problema es precalentar el agua de carga del hidrapulpar, lo cual ahorra de 20 a 30 kg de combustible por tonelada de papel. Otra solución puede ser utilizar un hidrapulpar de alta consistencia (10%), con lo que el consumo del combustible puede reducirse a menos del 50%.

En las máquinas de hacer papel propiamente dichas se puede lograr ahorros de vapor tomando las medidas siguientes:

a) Evitando fugas de vapor y de condensado en las tuberías, mangueras y juntas rotatorias. Estas fugas suelen ocasionar grandes pérdidas de vapor, o bien obligar a cerrar algunas

secadoras, disminuyendo así la eficiencia de producción de la máquina. Una junta defectuosa puede perder de 50 a 150 kgs de vapor por hora.

b) Cambiando el sistema de drenado de los secadores y suprimiendo algunas trampas de vapor. El sistema en cascada produce una velocidad de paso del vapor más alta y aumenta así la eficiencia del secado. Además, el aprovechamiento del vapor de baja presión (flash) reduce el consumo total. Puede haber un ahorro de 3 a 10% del vapor requerido.

c) Aislando los cabezales y tubos de vapor y condensado. Esta medida es dificil de hacer y costosa debido al gran número de tubos y conexiones de poco diámetro y generalmente se descuida. Pero es muy conveniente tomarla. Además los aislantes comunes se rompen ó deterioran con el uso muy rápido.

El mejor aislante en este caso es la fibra de vidrio rígida de alta densidad en mitades. Cubierto con una coraza de lámina galvanizada del #24 y abrazaderas. Es un sistema caro, pero permite darle mantenimiento fácilmente y volver a colocar el aislante sin que se deteriore. Esta medida puede ahorrar de 2 a 3% de vapor.

d) Aislando las tapas de los extremos de los cilindros secadores. Puede ahorrarse así del 1 al 3% del vapor o aún más si las velocidades son altas.

e) Usando campana de extracción de vapores cerrada, con inyección de aire caliente por el sótano o fosa. Esta medida puede ahorrar del 1 al 5 % de combustible pero requiere estudios muy cuidadosos para lograr una operación satisfactoria.

f) Disminuyendo el flujo de aire de extracción de la campana, hasta llegar cerca del punto de rocío. Puede ahorrarse así de 2 a 5% del vapor. Sin embargo, este sistema requiere instalar controles automáticos y un dimensionamiento muy bueno de la campana; pues debe estar cambiando constantemente el flujo de aire, según los cambios en el aire y las condiciones climáticas.

g) Instalando algún tipo de prensa de alta presión antes de los secadores. Generalmente en posición de segunda prensa, con presiones unitarias de 600 a 1,000kgs/pulgada lineal; o bien prensas calientes, tipo Tem-sec o similares. El ahorro de vapor que se logra con esta medida puede ser muy alto, de 10 a 20%.

En la elaboración de cartulinas y cartones gruesos, el ahorro puede ser mayor. Una reducción de 1% en el contenido de húmedad de la hoja al entrar a los secadores produce una reducción del consumo de vapor del 3%.

Por lo que se refiere al uso de regaderas de vapor en la mesa de fabricación y las prensas, es muy importante señalar que estos equipos no bajan el consumo de vapor, sino que inclusive a veces lo aumentan.

Uso del Tubo Venturi Modificado en vez de Trampas.

Por fin, en el campo [Ref.19] de los sistemas de uso, manejo y distribución de vapor, después de más de 150 años de batallar con las trampas de vapor, que acabaron por ser consideradas como un mal necesario, hoy día se cuenta con un mecanismo de comprobada eficiencia, el tubo Venturi modificado, que permite enormes ahorros de energía y por ende, de combustible y vapor, al usuario.

La situación real en las instalaciones que manejan mezclas vapor-agua, muestra que las trampas de vapor reducen la eficiencia del equipo al que sirven, requieren de un mantenimiento continuo y costoso, desperdician vapor y, como consecuencia, requieren un mayor e innecesario consumo de combustible y agua tratada.

Pero afortunadamente en 1977 una firma estadounidense vió colmados sus esfuerzos en la investigación de la ingeniería de fluidos, especialmente en flujos de fluidos de dos fases como el agua-vapor. Como resultado de esas investigaciones se lograron los diseños más eficientes del tubo venturi y un método más preciso de cálculo y dimensionamiento del sistema para cualquier aplicación industrial. Por supuesto que estas aplicaciones también pueden hacerse en la ICP.

El sistema de Venturi típico consta de tres partes: un filtro o colador equipado con una malla de acero inoxidable #40. Este filtro en forma de "Y" conecta por un lado con una válvula que permite desalojar las partículas que al ser arrasadas por la mezcla vapor-agua, quedan retenidas en la malla y, por el otro, conecta con el venturi propiamente dicho. Este Venturi es un orificio elongado, fijo, sin partes móviles y hecho de acero inoxidable. La capacidad de manejo de condensado de los múltiples modelos de Venturi disponibles, cubre prácticamente todas las necesidades de la industria.

La mezcla vapor-agua al llegar al orificio sobre una especie de estrangulamiento y al escapar el condensado éste bloquea la salida del vapor dejándolo para el proceso de transmición de calor que lo requiere.

A continuación se muestran en el Cuadro IV.6. las diferencias más sobresalientes entre los sistemas de tubo Venturi y las trampas de vapor.

CUADRO IV.6.
DATOS COMPARATIVOS ENTRE UNA TRAMPA DE VAPOR Y UN SISTEMA VENTURI MODIFICADO

TRAMPA DE VAPOR	SISTEMA DE VENTURI MODIFICADO
-El condensado se descarga cíclicamente. Su mecanismo abre y cierra intermitentemente. Cada vez que abre, deja escapar gran cantidad de vapor vivo también.	-El condensado se forma y se descarga continuamente.
-El contínuo abrir y cerrar del mecanismo eventualmente conduce a su falla. La incidencia de fallas es alta y costosa.	-El sistema carece de partes móviles.
-Se requiere de un mantenimiento continuo. Los fabricantes recomiendan una inspección al menos semanal.	-Virtualmente no requiere de mantenimiento.
-Los costos de reparación por concepto de repuestos y mano de obra son altos.	-El sistema prácticamente no sufre desgastes. Las unidades instaladas hace 8 años, todavía no han requerido de ningún reemplazo.
-Por su funcionamiento, se producen contra-presiones, ruidos y los llamados golpes de ariete.	-Por su funcionamiento y descarga contínua, no se producen contrapresiones ni ruidos.
-Pérdidas potenciales de vapor; altas.	-Pérdidas potenciales de vapor bajas y ahorro de energía muy alto.
-Costo de operación alto.	-Costo de operación bajo.
-Vida Util, 4-5 años en el mejor caso.	-Vida útil, 4 a 5 veces mayor que la mejor trampa de vapor.

La contínua eliminación del condensado permite una mayor eficiencia en los procesos de transmisión de calor, reduciéndose los tiempos de proceso frecuentemente.

El lugar de instalación se seleccionó de modo tal que se pudieran hacer mediciones confiables para determinar; la capacidad para separar el condensado de la línea de vapor y la cantidad de vapor que escapa a través del punto de separación, hacía el sistema de recuperación de condensados. Los resultados obtenidos se muestran en seguida.

CUADRO IV.7.
EVALUACION EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA VENTURI FRENTE A UNA TRAMPA DE VAPOR.

+Temperatura antes del punto de separación.	200°F	210°F	La mayor temperatura significa mayor separación.
+Temperatura después del punto de separación	162°F	120°F	La mayor temperatura refleja escape de vapor.
+Tiempo de recolección de	1.5hr	1.5hr	La pérdida de vapor se redujo drasticamente con el sistema Venturi.
+Peso de condensado	40kgs	20kgs	
+Ahorro de vapor	N/A	13.3kgs/hr.	

Los ahorros de combustible esperados con un sistema Venturi al reemplazar una trampa dependerán en gran medida de la condición de la trampa y las condiciones termodinámicas específicas.

Los ahorros de combustible debidos al reemplazo de la trampa de vapor evaluada, se determinan como sigue:
- Ahorro de vapor: 13.3kgs/hr.
- Horas de generación: 8,760 hrs/año.
- Ahorro de vapor al año, 116,667kgs.
- El ahorro económico total es de $1,283 doláres/año, considerando un precio de $5 dólares/454 kg.

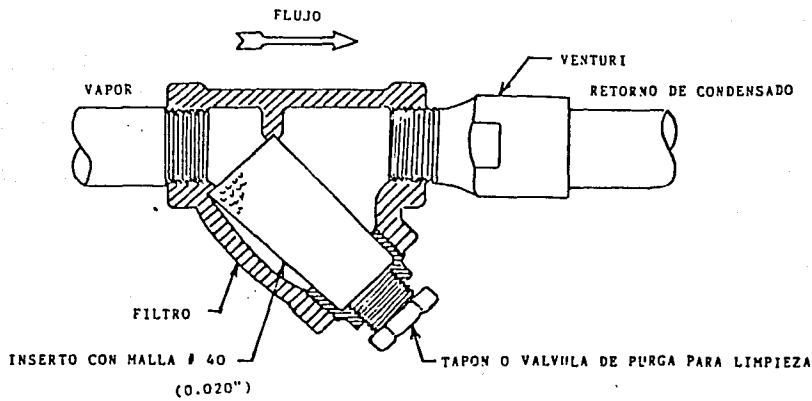
Los ahorros anteriores corresponden a una sola trampa de vapor reemplazada. Estos ahorros no incluyen los ahorros por concepto de mantenimiento ni tampoco los derivados de su mayor durabilidad. El porcentaje de trampas que están fallando en cualquier momento en una planta en la industria en México es muy alto, suele ser del 30% ó más, lo cual nos da la idea de las grandes pérdidas de vapor por ese concepto.

Estas pérdidas pueden costar mucho dinero a una planta de la ICP, basta con examinar el siguiente cuadro para darse idea de ello y por lo tanto del enorme potencial de ahorro, si se sustituyen por tubos Venturi.

CUADRO IV.8.
COSTO DE FUGAS DE VAPOR
(Base en dólares/año a 100 Psig de presión)

Diámetro equivalente del orificio en pulgadas.	Vapor perdido Lbs/Año	Costo por 1000 lbs $5.00	$7.50	$10.00
1/16	115,630	578	867	1,156
1/8	462,545	2,313	3,469	4,625
1/4	1,848,389	9,242	13,863	18,484
1/2	7,393,432	36,967	55,451	73,934

FIGURA IV.2.
ESQUEMA DE UN SISTEMA VENTURI.



En resumen, se puede concluir que la opción de utilizar el tubo Venturi en lugar de trampas de vapor, constituye una de las mejores medidas para el uso eficiente y el ahorro de vapor en la ICP, y que aporta notables ventajas al usuario en las siguientes áreas:

1) Mayor eficiencia en los procesos de transmisión de calor, como consecuencia de:
- Una temperatura más uniforme y más estable en las líneas de vapor.
- Virtual eliminación de las pérdidas de vapor.
- Temperaturas menores y más uniformes en el sistema de retorno de condensados.
- Menor carga y demanda del equipo de generación de vapor.

2) Ahorro considerable de energía en función de una drástica reducción en el combustible, pudiendo ascender hasta un 50%.

3) Costo de mantenimiento casi nulo.

4) Vida útil del tubo Venturi mucho más larga.

Resumiendo, se puede decir que para hacer eficiente el uso del vapor en una planta de la ICP, se deben tomar medidas como las que a continuación se mencionan.

En primer lugar se deben eliminar las fugas de vapor y no producirlo en forma excesiva, sino de acuerdo a los requerimientos del proceso.

Las calderas deben operarse a su máxima eficiencia, darles un matenimiento adecuado, cotrolarlas por computadora, y reducir su presión hasta donde sea posible. Las tuberías,conexiones y recipientes que conducen vapor deben ser aislados en forma correcta.

El vapor se debe comprar a compañías que generen electricidad, limitar su demanda a un máximo determinado y sostenerla.

Los motores eléctricos de alta eficiencia reemplazan a las turbinas de vapor de una sola etapa. Se incrementa el uso de la energía eléctrica, pero el uso del vapor disminuye.

Los motores de las bombas equipados con controladores de velocidad variable reducen las pérdidas por estrangulamiento y recortan los requerimientos de energía para bombeo en un 8 %.

Por otra parte, el uso del agua se reduce mediante el aumento de la consistencia de la celulosa y el lavado por difusión.

Las descargas de líquido de desecho del proceso se reducen sustancialmente cerrando el ciclo del proceso.

Algunos de estos cambios en la ICP son aplicables también a otras industrias.

IV.3.2. MEDIDAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA.

Una de las medidas más importantes para ahorrar energía, es elevar la presión del vapor que genera la planta para producir electricidad mediante turbinas de vapor. En una palabra implantar la cogeneración en las industrias de celulosa y papel; de esto se habla ampliamente en el inciso respectivo.

Reducir la máxima demanda de energía eléctrica y procurar que ésta y las horas pico de la planta no coincidan con las horas pico del consumo externo global. Por otra parte se deben eliminar los motores y bombas sobrediseñados, duplicados e ineficientes.

En cuanto sea posible hay que instalar equipo más eficiente para producir la celulosa, como los capacitores para elevar el factor de potencia, y darle mantenimiento preventivo. Si se utiliza papel de desecho como materia prima en lugar de celulosa de madera, se obtendrá un buen ahorro de la electricidad que se consume en la elaboración de papel.

A continuación se ven con más detalle medidas como la reducción del costo de energía mediante la corrección del factor de potencia.

Una medida de ahorro [Ref.20] en los costos de energía eléctrica es la corrección del factor de potencia. El consumidor procurará mantener el factor de potencia de su consumo eléctrico, tan aproximado a 100% como le sea posible, pues en caso de que su factor de potencia durante cualquier mes tenga un promedio menor que 85% respecto al período anterior, determinado por métodos aprobados por la SECOFI, el suministrador de electricidad tendrá derecho a cobrarle la cantidad que resulte de multiplicar el monto del recibo correspondiente por 85 y dividir el producto entre el factor de potencia medio atrasado, en porciento, observado durante el mes. Esto se debe a las disposiciones oficiales publicadas en el diario oficial del 19 de enero de 1962.

Según esto, si un consumidor industrial necesita mensualmente una potencia real cuyo costo es de $ 100,000.00 por ejemplo, y opera con un factor de potencia medio de 70%, deberá pagar:

$$\frac{\$100,000*85}{70} = \$121,428.57 \text{ mensuales.}$$

Lo que supone un 21.4% de pago adicional, por penalidad.

Pero ¿qué es el factor de potencia?, el factor de potencia se puede definir como la relación que existe entre la potencia real consumida o potencia activa W, y la potencia aparente W_o que llega a la planta, o sea factor de potencia = W/W_o.

Una forma de corregir el factor de potencia es mediante el uso de capacitores de potencia, ya sea en alta o en baja tensión.

Los capacitores de potencia conectados en paralelo a un equipo especial o a la carga que supone una instalación industrial completa, representan una carga reactiva de carácter capacitivo, que toma corrientes desfasadas 90°, en adelanto, respecto al voltaje. Estas corrientes, al hallarse en oposición de fase con respecto a las corrientes reactivas de tipo inductivo, tienen por efecto el reducir la corriente reactiva total que consume la instalación eléctrica en cuestión. Esto significa que variando la carga capacitiva instalada, el factor de potencia puede aproximarse al valor de 100 %, tanto como sea conveniente.

En general el uso de capacitores de potencia proporciona los beneficios siguientes:

a) Aumenta la capacidad de carga de los generadores, líneas eléctricas y transformadores.

b) Reduce las pérdidas de energía calorífica, mejorando notablemente el rendimiento económico de transmisión y consumo de la energía eléctrica.

c) Permite elevar los niveles de voltaje y mejorar su regulación en los centros de consumo de energía eléctrica.

d) Corrige el factor de potencia, evitando el pago de penalidades a las compañías eléctricas.

Reducción de la demanda máxima de electricidad.

También hay que procurar que la máxima demanda de energía eléctrica no coincida con las horas pico, y que no sea tan alta. Se recomienda hacer esto porque en las tárifas de cobro que tiene la CFE y CLFC precisamente se cobra más cara la electricidad cuando un consumidor la gasta en las llamadas horas pico, o sea en el momento en que todas las demás industrias o el sector doméstico se disparan al máximo.

Dentro de los elementos de costo [Ref.21], el más importante lo constituye el que se refiere a la demanda, pues es esta la que impone a la CFE la necesidad de invertir más capital. Este costo se puede considerar fijo, ya que es independiente de la generación, la razón de que repercuta en las tarifas puede

explicarse si se examina el caso de dos usuarios que tienen igual consumo por diferente demanda.

Por ejemplo el usuario A tiene 25 KW que opera durante 200 horas al mes, lo que da un total de 5,000 KWH de consumo eléctrico mensual. El usuario B por su parte tiene una carga de 50 KW que opera durante 100 horas al mes, con lo cual consume también 5,000 KWH mensuales.

Sin embargo, el costo de suministro eléctrico para el usuario B es obviamente mayor debido a que se necesita una cantidad mayor de equipo y de inversión por parte de las compañías que generan la electricidad para satisfacer la demanda de este usuario, la cual es superior a la del usuario A.

En otras palabras el usuario o cliente crea y acrecienta la demanda, y las compañías de luz le cobran un cargo especial, para poder realizar las inversiones que requiere instalar la potencia necesaria para poder satisfacer la máxima demanda en el momento y el lugar que el cliente lo requiera.

Pero sí un cliente baja su carga o demanda, obviamente puede tener un consumo igual de KWH de energía eléctica y pagará por ello menos. Por eso se recomienda bajar la carga o demanda máxima.

Ahora bién para lograr bajar la demanda necesariamente tendrán que hacerse adecuaciones a los procesos, pues por ejemplo si se tiene un motor que funciona con una carga de 50 KW, no va a ser posible reducir esa carga mientras ese motor sea imprescindible en el proceso que se esté empleando en la planta; pero si el proceso o parte de él se modifica puede ser que ese motor ya no sea necesario, o que en su lugar se empleen 2 pero ahora de una carga de 30 KW o 35 KW.

Para bajar el consumo máximo, y evitar los picos, hay que distribuir el consumo de electricidad de la planta durante las 24 horas o el tiempo que opere al día, de tal manera que dicho consumo de ser posible sea plano, es decir sea uniforme y no tenga picos, pero que en caso de tenerlos, esos picos no sean tan grandes respecto al consumo promedio y sobre todo que no coincidan con las horas pico del consumo nacional, pues es entonces cuando el consumo es cobrado más caro por la CFE o la CLFC.

Lo anteior puede lograrse, mediante el logro de un perfil de carga adecuado en la planta de las ICP que quiera ahorrar energía. Una condición para que un servicio eléctrico tenga un factor de carga cercano a la unidad, consiste en tener, asimismo, una curva de duración de carga tan parecida como sea posible a un rectángulo. En consecuencia el primer paso es la obtención de un pérfil de la carga a lo largo de las 24 horas de un día que se

considere representativo. Sólo así se puede hacer un diagnóstico lo más real posible con base en los sigiuientes parámetros:

- Existencia o no de picos.
- Duración de los picos.
- Magnitud de los picos.
- Horario en que se producen los picos.
- Orígen o causa de los picos.
- Posibilidades de abatir los picos.

Este análisis es necesario para obtener un factor de carga real, pues el que proviene de las facturas mensuales, es un valor promedio que está afectado por los días de descanso o de baja producción.

No es posible dar normas o medidas que se apliquen a todas las plantas de la ICP para reducir el consumo eléctrico y en este caso para tener un perfil de carga, lo más "plano" posible, es decir sin picos, porque cada caso debe tratarse de acuerdo a sus propias condiciones, pero algunas sugerencias al respecto, son las siguientes:

- Evitar el arranque simultáneo de todo el equipo de la planta, pues esto aumenta grandemente el consumo pico; a la hora de arrancar sólo deben hacerlo simultaneamente los departamentos necesarios para que pueda realizarse el proceso, pero lugares cuyo trabajo no tiene relación directa con el proceso, pueden diferir su arranque, por ejemplo el departamento de taller mecánico, el de oficinas y en general todo el sistema de refrigeración, ventilación o calefacción de las mismas.

- Otra medida que se puede tomar es tener planta de luz propia para ponerla en marcha en las horas pico, para alimentar por ejemplo el área de servicio, y de esa manera reducir la carga pico de la planta, en las horas pico de consumo en la ciudad o localidad donde se ubique la planta.

IV.3.3.Medidas para lograr un uso eficiente de la energía térmica.

En las ICP se usan varios tipos de energía como la eléctrica, la mecánica y la calorífica o térmica, entre otras.
En términos cuantitativos la mayor cantidad de energía utilizada en una planta de la ICP es la térmica. Pues esta energía está presente en el agua caliente [Ref.22] que se utiliza en las calderas, en el lavado de materias primas, y productos, o semiproductos, en el vapor que se utiliza en todas las etapas de fabricación del papel o de la elaboración de celulosa; en el aire caliente que se utiliza principalmente en las secadoras de celulosa y papel; en los condensados de vapor; en el licor negro que se obtiene como subproducto de la digestión de las materias

primas utilizadas para hacer papel, en fin inclusive en los gases de desecho que van a la atmósfera y en el agua que sale al drenaje o a los ríos y presas.

De lo anterior se desprende la importancia de tomar medidas de todo tipo, para hacer un uso lo más eficiente posible de este tipo de energía en las plantas de la ICP, y consecuentemente ahorrar energía.

Las medidas encaminadas al uso eficiente y ahorro de energía térmica en una planta de ICP, están relacionadas principalmente con el uso eficiente del vapor, de los condensados, del licor negro, del aire y del agua caliente.

Por lo tanto, al tomar medidas para hacer eficiente el uso del vapor, para retornar los condensados, para bajar la temperatura del agua y los gases de desecho y para reutilizar el licor negro, se está ya tomando medidas para el uso racional de la energía térmica.

Sin embargo, se abunda en este inciso un poco más sobre algunas medidas más específicas en este aspecto. Muchas veces el condensado de vapor no es recuperado, lo cual ocasiona gran pérdida de energía térmica, pues dicho condensado se encuentra a temperaturas por encíma de los 100°C, por lo tanto se sugiere recuperar la mayor cantidad posible de condensados y utilizarlos por ejemplo para calentar el agua de alimentación de la caldera, y para realizar algunas operaciones de lavado que requieren de agua caliente.

Hay actividades de limpieza de los productos o semiproductos en las plantas de celulosa y papel, así como la limpieza en general que comunmente se hacen con agua caliente, pero que pueden realizarse con agua fría. Se recomienda que en estos casos se utilice agua fría, para ahorrar la energía térmica del agua caliente. Pero inclusive cuando es necesario utilizar agua caliente, como en algunos procesos de lavado de semiproductos, es conveniente reutilizar el agua después del lavado, y no enviarla de inmediato a la coladera.

Una buena cantidad de energía calorífica en las plantas de la ICP se utiliza para secar la celulosa o el papel; pues bien, se podría tener un buen ahorro de energía térmica si antes de que el material a secar entre a los secadores a base de aire caliente o energía eléctrica, se instalan equipos que sequen mecanicamente a los productos; estos equipos pueden ser prensas o rodillos o sistemas al vacío que presionen al material de tal manera que literalmente lo expriman, y le quiten así la mayor cantidad de agua posible.

a) Condensado de vapor.

En cualquier proceso térmico donde se utilice al vapor como fluido para calentar se producen condensados. Esto ocurre porque el vapor cede su calor latente a los productos que se van a calentar, y por lo tanto pasa a la fase líquida, pero a la misma temperatura que tenía cuando era vapor. Por eso los condensados tienen un alto contenido de energía térmica y de allí nace el interés por recuperarlos.

La presencia de condensados en el circuito de vapor baja el rendimiento térmico de la instalación, por eso es necesario evacuarlos, pero sin tirarlos, sino recuperandolos para reducir así el costo de generar vapor. El condensado recuperado se utiliza en la caldera como agua de alimentación, ahorrándonos así el calentamiento del agua fría. Una pruga adecuada economiza gran cantidad de combustible. Hoy día es incocebible operar una red de vapor sin recuperación de condensados, pues se supone que por cada 5 ó 6°C de calentamiento en el agua de alimentación a calderas, se tiene un ahorro del 1% del combustible consumido para operarlas.

Separación del vapor y el condensado.

En toda instalación de vapor se utiliza una barrera para separar el vapor del condensado, esta barrera es un purgador. La evacuación del condensado se debe hacer sin pérdidas de vapor, por lo tanto es necesario colocar purgadores en los puntos de drenaje. Los puntos de instalación de los purgadores deben ser los puntos más bajos de la red para que el condensado llegue bien hasta allí.

Además es importante instalar en las tuberías de vapor separadores de gotas de agua, para evitar el golpe de ariete y para ir drenando poco a poco el condensado. Es conveniente que los separadores se coloquen a intervalos en las tuberías y sobre todo a la entrada de los equipos, para que el vapor sea lo más seco posible, y evitar así las películas de agua, que dificultan la transmisión de calor.

También es muy importante eliminar el aire en las redes de vapor, pues su presencia ocasiona descenso de la temperatura del vapor, deficiente trasmisión de calor y bloqueo de purgadores.

Aprovechamiento del calor sensible de los condensados.

En algunos procesos se puede trabajar aprovechando parte del calor sensible de los condensados. Cuando no es necesario dar la máxima velocidad a la transmisión de calor del vapor al proceso, tampoco es necesario eliminar el condensado tan pronto como se forme, por lo que se puede emplear parte del calor sensible del condensado, antes de que sea drenado.

Con esto se puede conseguir un ahorro de vapor, y también un ahorro en el tamaño de las tuberías de recuperación del condensado, pues al salir éste más frío, habrá menos revaporizado, y las tuberías pueden ser de menor diámetro. Para emplear parte del calor sensible del condensado se controla su salida de acuerdo a las condiciones del trabajo, a realizar, instalando un purgador adecuado.

Retorno del condensado.

El retorno de condensados a la caldera se hace por gravedad o mediante una bomba. El sistema de retorno consiste en una red de tuberías que llevan el condensado desde los diferentes puntos de purga hasta la tubería principal de retorno, que está conectada al tanque de la caldera.

Si los purgadores están en un nivel inferior al de la tubería de retorno de condensador, se deben instalar purgadores de elevación, en los cuales la presión de vapor empuja al condensado a través del purgador. Por cada kg/cm^2 de presión el condensado se eleva 10 metros de altura.

La recuperación del condesado tiene ventajas como la de aprovechar su calor, reducir las pérdidas en las purgas de las calderas, dismunuir el agua tratada, y como resultado de lo anterior, un menor costo por tonelada de vapor.

Efectos del aire en la transmisión.

Es necesario hacer todo lo posible por expulsar de las tuberías de vapor todo el aire que en ellas se encuetre, pues impide una buena transmisión de calor. El aire se mezcla con el vapor, pero al condensarse éste , el aire no se condensa y forma una película en la pared interna de la tubería, se estima que una película de aire de 0.022 mm de espesor, ofrece la misma resistencia a la trasmisión del calor que una película de agua 40 veces más gruesa, que una capa de acero de más de 10 cm o que una gruesa pared de cobre de unos 48 cm de espesor. Esto da idea de la magnitud del problema.

La manera más eficaz de eliminar el aire de una instalación de vapor es dotar a ésta de un dispositivo que lo elimine automáticamente, por ejemplo un eliminador termostático de aire. Este eliminador se abre para dejar salir el aire y se cierra cuando entra vapor.

b) Aire y otros gases calientes.

En la idustria, el aire y los gases calientes se usan bastante pero no como fluidos portadores de calor, sino más bien como parte de los procesos de combustión en hornos y calderas. En los procesos químicos en lo que comunmente se transmiten grandes

cantidades de calor, por ejemplo en los procesos de elaboración de celulosa y papel, el empleo de aire y gases calientes obligaría a instalar grandes superficies de intercambio de calor o a trabajar con diferencias de temperatura muy grandes, lo cual provoca el peligro de sobrecalentar el producto a calentar. Por ello, normalmente se utiliza vapor de agua e incluso fluidos térmicos, de acuerdo con los niveles de temperatura que requiere el proceso.

El aire y los gases calientes también tienen una aplicación importante en la calefacción y en los procesos de secado de celulosa y papel. En el proceso de secado no se pretende calentar el producto, sino quitarle la humedad, si no completamente, por lo menos hasta el grado que indican las específicaciones. Generalmente en un proceso de secado, se utilizan gases o aire caliente para llevarlo a cabo, los cuales se hacen pasar a través de una serie de rodillos por donde va pasando el papel hasta que adquiere el grado de sequedad específico.

Pero los gases o el aire caliente que se emplean en el secado, al salir de las secadoras todavía contienen una buena cantidad de calor, el cual no es conveniente desperdiciar, sino que hay que volverlo a utilizar.

Pues bien, una manera de aprovechar esos gases o aire caliente es para precalentar el aire de combustión. El aprovechamiento del calor de los gases de combustión es obligatorio si se quiere recuperar una buena parte de la energía térmica que contienen y mejorar el medio ambiente.

Se considera que hay dos aspectos que pueden producir un gran ahorro de energía, estos son el control del aire de combustión y la recuperación del calor sensible de los gases de desecho o humos.

Control de los aspectos que propician una buena combustión.

En este inciso se revisan los aspectos técnicos y económicos de la combustión, con el propósito de obtener la máxima [Ref. 23] eficiencia, economía y limpieza posible en la operación de quemadores de calderas.

¿Qué se ha hecho para reducir el consumo de combustibles en los quemadores en el campo industrial? En realidad, en este campo no han aparecido en nuestro país innovaciones tecnológicas importantes, pero el simple hecho de revisar antiguas y sencillas técnicas de la combustión contribuye enormemente a bajar sus costos de operación y reducir la contaminación ambiental.

Para optimizar la combustión en calderas se necesita revisar una serie de factores elementales que frecuentemente se descuidan e impiden hacer un uso eficiente de la energía.

En primer lugar se debe hacer un análisis de los combustibles disponibles en el mercado local, su precio, poder calorífico y sus especificaciones fisico-químicas. Como ejemplo se tendría el análisis del combustóleo ligero y pesado y del diesel, que se presenta a continuación.

CUADRO IV.9.
PROPIEDADES DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS

PARAMETROS CONSIDERADOS	COMBUSTIBLES LIQUIDOS Combustóleo ligero	Combustóleo pesado	Diesel
Peso específico a 4°C	0.981	0.982	0.852
Temperatura de inflamación	89	103	77
Viscosidad S.F. a 50°C,seg	191	510	37.8-38°C
Cenizas (% peso)	0.08	0.32	--
Azufre total (%peso)	3.02	3.3	1.0
Agua y sedimentos (% vol)	0.2	0.11	0.05
Poder calorífico neto(kcal/kg)	10,400	10,400	10,680
Poder calorífico neto(kcal/lt)	10,202	10,212	9,099

GAS L.P (Mezcla típica que expande comunmente el mercado)

Butano (C_4H_{10})	80%
Propano (C_3H_8)	20%
Peso específico	0560
Kcal/kg líquido	11818
Kcal/lt líquido	6809
m^3/kg líquido	0.573
m^3/lt líquido	0.319
Kcal/m^3 vapor	10827
Presión de vapor	2.91kg/cm^2
Densidad referida al aire	1.9
Densidad referida al agua	0.56

Datos obtenidos en la ciudad de México a 2240 M.S.N.M., 20°C de temperatura y una presión atmosférica 587 mm de Hg ó 0.796 kg/cm^2.

También es conveniente realizar una comparación de costos de combustibles, similar a la que se da en el ejemplo siguiente:

CUADRO IV.10.
COMPARACION DE COSTOS DE COMBUSTIBLES
PARA CALDERAS Y QUEMADORES.

CARACTERISTICAS	TIPO DE COMBUSTIBLE P.DIAFANO	DIESEL	GAS.L.P.	COMBUSTOLEO
Poder calorífico A [kcal/lt]	8,389	9,272	6,809	9,896
Precio combustible (B) por litro *	$56.40	$108.00	$39.42	$27.00
kcal/$ o sea A/B	149	86	179	367
Costo por mil kcal.	$6.72	$11.65	$5.78	$2.73

* Precios de combustibles del 8 de Agosto de 1986

En función de los datos anteriores vale la pena preguntarse cuál será el ahorro potencial si se cambia de un combustible a otro. Para este caso la situación sería la siguiente:
¿Sí se cambia de diesel a.....?

combustible	% de ahorro
P.diáfano	42.3%
gas L.P.	50.3%
combustóleo	76.5%

¿Sí se cambia de Petróleo diáfano a.....?

combustible	% de ahorro
gas L.P.	14%
combustóleo	59.4%

Es obvio que de acuerdo al costo y características fisico-químicas, el combustible más deseable, de los anteriores, sea el gas y el menos deseable sea el diesel, pero posiblemente se tenga que optar por otro combustible si el abastecimiento de gas no está disponible.

Por otra parte támbien se recomienda investigar la facilidad o complejidad del manejo de los diferentes combustibles en instalaciones similares a la de una planta de la ICP en particular, antes de que se decida utilizar o cambiar uno u otro combustible.

De acuerdo a los cálculos estequiométricos el oxígeno necesario para una buena combustión será igual a:

$$O_2 \text{ necesario} = 2.66\ C + 8\ H_2 + 1\ S - 1\ O_2$$

en donde C, H_2, S y O_2 son las fracciones en peso de estos elementos en el análisis del combustible.

El aire de la atmósfera contiene 23.2% de oxígeno y aproximadamente 76.8% de nitrógeno, en peso, por lo tanto el aire estequiometricamente necesario para quemar la unidad de peso de combustible, será:

$$A_{nec} = \frac{2.66}{0.232} C + \frac{8}{0.232} H_2 + \frac{1}{0.232} S - \frac{1}{0.232} O_2$$

$$A_{nec} = 11.5C + 34.5H_2 + 4.32S - 4.32O_2$$

Y el aire práctica o realmente necesario es $A_p = A_{nec} + E$, donde E es el exceso de aire.

Debido al exceso de aire, siempre se obtendrá oxígeno libre en los gases de combustión, lo cual ocasiona la necesidad de lograr un análisis de gases de combustión con un contenido de CO_2 en los rangos siguients:

	Tipo de combustible		
Contenido de CO_2	gas natural	Diesel No.2	Combustóleo No.6
Excelente	100% CO_2	12.8 CO_2	13.8% CO_2
Bueno	9%	11.5%	13%
Regular	8.5%	10%	12%
Pobre	8% ó menos	9%	11.5% ó menos.

Lo ideal sería consumir exactamente el aire necesario, pero por dificultades técnicas y por otros motivos esto no sucede así, si no que generalmente se acostumbra a suministrar aire en exceso. ¿Pero qué sucede sí se disminuye o aumenta el aire necesario para la combustión?

- Si se disminuye el aire para la combustión, se va a tener monóxido de carbono en los gases de combustión, lo cual significa lo siguiente:

+ No se dispondrá de todo el poder calorífico potencial del combustible ya que el carbono quemado como monóxido de carbono libera solamente el 29.8% de lo que libera quemando CO_2.
+ La presencia de CO forma una capa de hollín en la superficie de transferencia de calor que actúa como aislante térmico.
+ Las pérdidas de calor por transmisión que origina esta capa de hollín, según la American Manufacturers Association es la siguiente:

0.8mm (1/32") de hollín hace perder 9.5 % de calor
1.6mm (1/16") de hollín hace perder 26.2 % de calor
3.2mm (1/8") de hollín hace perder 45.3 % de calor
4.7mm (3/16") de hollín hace perder 69 % de calor.

Así es que los daños de la capa de hollín son obvios y graves.
+ Al disminuir el calor liberado en los hornos y la cantidad de calor transmitido a las calderas, con el propósito de mantener la carga de vapor, se tiende a quemar mayor cantidad de combustible aumentando la gravedad del caso.
+ Se envían a la atmósfera gases altamente venenosos como el CO.
+ Se aumenta grandemente el costo de operación.
+ Se sacrifica innecesariamente al personal de operación y mantenimiento en labores de deshollinado, tárea que por otra parte resulta muy molesta y desagradable.

Por otro lado si se aumenta el exceso de aire ocurrirá lo siguiente:

+ Como el aire atmosférico contiene 76.8 partes de nitrógeno, una pequeña fracción de oxígeno libre en los gases de combustión, representa una gran porción de nitrógeno que se va a calentar innesariamente, consumiendo calor, lo que significa una disminución en la eficiencia del sistema.

El coeficiente de exceso de aire, partiendo del % de oxígeno libre en los gases de combustión, se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Exceso de airte (\%)} = K \left(\frac{21}{21 - \%O_2}\right) * 100$$

K = 0.9 para gas.
K = 0.94 para aceite
K = 0.97 para el carbón.

Una simple inspección ocular de los gases de combustión y de la llama puede orientar para aumentar la eficiencia de la combustión.

Los gases color blanco indican que hay un exceso de aire, mientras que gases de color negro indican gran exceso de combustible, y los gases incoloros indicarán que están aptos para ser analizados por un analizador Orsat o alguno equivalente.

Relación aproximada entre el color de la flama y su temperatura.

Flama	Temperatura
Brillante	199 oC
Blanca	1200 oC
Amarilla	940 oC
Rojo brillante	845 oC
Cereza	745 oC
Cerezo obscuro	635 oC
Rojo apenas visible	500 oC

Sin embargo actualmente existen aparatos sofisticados para analizar la temperatura de la flama a distancia, como los basados en el fotómetro.

En vista de la importancia del análisis de los gases de combustión, se dispone de varios aparatos para efectuar dicho análisis, principalmente del CO, CO_2 y O_2. Para analizar el oxígeno se recomienda un analizador continuo de inserción directa, el cual es más garantizado y requiere menos mantenimiento, además usa como captador de información una célula de óxido de circonio.

Debido a todo lo anterior es muy importante llevar a cabo cálculos precisos de la relación aire/combustible que debe evitar consumos innecesarios de combustible y la producción de gases contaminantes que las leyes prohiben lanzar a la atmósfera y cuya eliminación conlleva fuertes costos a las empresas.

Recuperación del calor sensible de los gases de desecho.

Si se supone que en una planta de la ICP se quema un combustóleo que tiene un poder calorífico de 9,600 kcal/kg y la composición siguiente:
C= 85.5%, H_2 = 10.8%, S = 2.7% e inertes = 1% .
Sea Am = volumen de aire mínimo de combustión/kg de combustible.

Am = (0.855/12 + 0.108/2 + 0.027/32) 22.4/0.21 = 10.57 nM3.
y el de gases de desdecho húmedos es:

Hh = (0.855/12 + 0.108/2 + 0.027/32) 22.4 +0.79x10.57 = 11.175 Nm^3.

Si la combustión se efectúa con un exceso de aire del 11%, lo que representa una combustión bien controlada, el volumen total de gases será:

$$Ht = 11.175 + 0.11x10.57 = 12.338\ Nm^3.$$

tomando como calor específico medio de los gases de desecho o humos, el valor de 0.336 kcal/Nm^3ºC y siendo Th la temperatura de salida de los humos o gases de desecho, su calor sensible es:

$$Qs = 12.338x0.336xTh = 4.146\ Th.$$

Si se expresa en % el calor aportado por el combustible, se tiene que:

$$Qs = \frac{4.146x100}{9,600} Th = 0.0432\ Th.$$

Lo cual significa que un poco más del 4% del combustible se pierde en los gases de desecho, por cada 100ºC de temperatura de los mismos, para las condiciones de combustión supuestas. Por lo tanto es obvia la conveniencia de recuperar esta energía.

Medidas para recuperar la energía de los gases de desecho.

En las calderas la temperatura de salida [Ref. 22] de los gases de desecho suelen ser de alrededor de 200°C. Para recuperarlos generalmente se instalan economizadores para calentar el agua de alimentación.

Ya se dijo anteriormente que por cada 5 ó 6°C que se precaliente el agua de suministro a las calderas, se obtiene un ahorro de combustible del orden del 1%. También se dijo que por cada 100°C en la temperatura de los gases de desecho, se pierde un poco más del 4% de combustible.

Por lo tanto enfriar estos gases de 200 a 100°C significaría un ahorro superior al 4% en el combustible; esto se puede lograr instalando un economizador entre la salida de la caldera y la entrada a la chimenea. Pero se debe tener cuidado de no enfriar demasiado los gases de desecho, pues podrían condensarse en los tubos del economizador y causarle una grave corrosión.

Recuperadores de calor.

Existen dos tipos diferentes de precalentadores de aire y son los de tipo regenerativo y los de tipo recuperativo.

Los precalentadores de tipo regenerativo constan basicamente de un rotor con una gran masa metálica, que absorbe calor de los gases de combustión y lo cede al aire, que circula hacia los quemadores, al atravesar en su giro ambos circuitos.

Estos recuperadores presentan algunos problemas que se deben tomar en cuenta al momento de su elección, estos son: La pérdida del aire que va al circuito de gases y viceversa; la acumulación de suciedades en el rotor, lo cual puede hacerlo rozar con la carcasa y dificultar su arranque después de algunas paradas, y por último la conducción en los conductos es más complicada que en los recuperativos.

Precalentadores de tipo recuperativo: Estos precalentadores son más convencionales y son esencialmente intercambiadores de calor que hacen la transferencia de calor a través de una serie de haces tubulares. El aire circula por el interior de los tubos, en tanto que los gases lo hacen por el exterior de los mismos. Estos equipos permiten un aprovechamiento energético mayor, ya que utilizan tubos de vidrio y las temperaturas de pared de tubo pueden llegar a estar por debajo de la temperatura de formación del ácido sufúrico.

Las necesidades de limpieza en estos equipos son comunes ya que el hollín arrastrado por los gases tiende a pagarse sobre los tubos de cristal.

c) Agua caliente.

Como se dijo al inicio de este inciso, en las plantas de la ICP se utiliza gran cantidad de agua caliente para la elaboración de celulosa y papel. Por otra parte, también al condensado de vapor se le puede considerar como agua caliente.

El problema fundamental que presenta el agua caliente y los condensados en los equipos de una planta, es que ocasiona formación de incrustaciones de sales de calcio y de magenesio que, a temperaturas altas se hacen más insolubles, y se adhieren a las paredes internas de los ductos y tuberías de vapor y de agua caliente o de las calderas.

Para eliminar estos problemas en las instalaciones de vapor y condensados, es necesario tratar previamente el agua que se va a utilizar en ellas; este tratamiento consiste basicamente en una reducción fuerte de la dureza del agua.

El agua caliente utilizada como medio de transporte de calor, presenta las ventajas de tener menos presión de trabajo, instalaciones más simples, menos pérdidas por radiación, mayor conomía en aislamientos, etc. Para mantener en buenas condicioines una red de agua caliente conviene evitar entradas de aire en ella y utilizar productos inhibidores para disminuir al máximo el contenido de sales, que pueden producir incrustaciones y corrosión que con el tiempo aumentan las pérdidas de carga.

Se deben controlar las uniones de tuberías y las juntas, para evitar pérdidas. También debe revisarse el estado del material aislante, sobre todo en zonas húmedas, ya que la humedad los puede convertir en buenos conductores de calor, ocasionando así fugas de energía térmica.

d) Recuperación de licor negro en la elaboración de celulosa.

La elaboración de celulosa por métodos químicos consite basicamente en la cocción de las bifras celulósicas en un digestor durante unas 2 ó 4 horas, operación que se lleva a cabo en un digestor a una temperatura de 175°C y una presión de 7 a 8 kg/cm^2. El reactivo que se utiliza es una mezcla de NaOH y sulfuro de sodio (Na_2S).

Los productos principales consisten en un pulpa de color café y licor negro. El licor negro es una mezcla de material orgánico y reactivos sobrantes. El licor negro y la pulpa se separan mediante operaciones de filtración y lavado. El primero se concentra mediante evaporación hasta un contenido de 60-65% de sólidos y de allí se transfiere a un horno o caldera de diseño especial.

El calor proveniente de la combustión del licor negro puede ser aprovechado para la producción de vapor, ya que el poder calorífico de éste es elevado, pues el licor negro de madera tiene 1,900 kcal/kg de licor a 60% de sólidos, mientras el licor negro de bagazo de caña tiene 1,215 kcal/kg de licor a 39% de sólidos. Es posible recuperar, como parte de las operaciones descritas, una serie de subproductos tales como aguarrás, jabón, brea, etc.

Las cantidades de licor negro recuperadas en una planta productora de celulosa, pueden ser considerables, por ejemplo en una planta que produce 46, 275 ton de pulpa/ año, se recuperan 304,083 m^3/año de licor negro débil al 7% de sólidos. Este licor recuperado representa una buena cantidad de ahorro de energía térmica.

Los ahorros que pueden lograrse en una planta si se toman las medidas arriba enunciadas, van desde un 0.1 hasta un 20% de la energía total que consume una planta.

IV.3.4. La cogeneración de electricidad en la ICP.

La cogeneración se define [Ref.24] como el uso de una sola fuente de combustible para generar electricidad y vapor, en tal forma que el desperdicio térmico en el proceso de generación se recaptura y, directa o indirectamente, se usa para generar más vapor o para tomar el lugar del vapor o del calor que de otra manera tendría que ser generado.

Una aplicación típica de este tipo de sistema, es el uso de turbinas de gas para generar electricidad, con el calor extraído de la turbina utilizada para operar un calentador de vapor, para el uso de calentamiento o del proceso.

En muchos lugares del mundo, la renuencia de las fábricas para poner en venta el exceso de electricidad generada por un sistema así, ha sido un impedimento para la expansión del uso de tales sistemas. En México las principales limitaciones han sido dos. La primera es de carácter legal pues la Ley Eléctrica establece, que únicamente el estado mexicano puede generar y comercializar la energía eléctrica. Afortunadamente en fecha reciente (31 de mayo de 1991) fue publicado un decreto presidencial con un nuevo "Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en Materia de Autogeneración", en donde se reglamentan y amplían las posibilidades de las empresas nacionales de autoabastecerse.

El segundo factor que ha impedido la difusión de los esquemas de autogeneración se debe a la reticencia de muchos industriales para ensayar nuevas formas operativas; más eficientes pero distintas de las que comunmente han empleado.

Los sistemas de cogeneración pueden ser desarrollados ya sea con turbinas de vapor, de gas o con motores diesel. En general, los segundos son más baratos y tienen un consumo de combustible más bajo, sin embargo, se puede recuperar más calor de las turbinas de gas que tienen la capacidad de usar distintos combustibles (gas, petróleo, turbosina) y un sistema de una eficiencia energética total más alta.

Cogeneración en la ICP.

En la industria, muchas veces se usan los energéticos para [Ref.23] generar calor, vapor y energía eléctrica. Es el caso de la ICP. Estas aplicaciones constituyen un alto porcentaje del consumo total de energía en el sector industrial en general y en la ICP en particular.

En México generalmente se genera eléctricidad y vapor para procesos en forma independiente, lo cual origina el desperdicio de grandes cantidades de energía. Por eso,se considera que una de las mejores medidas para el uso eficiente y el ahorro de energía en la ICP es el establecimiento de la cogeneración en sus plantas.

La cogeneración es un sistema alternativo de producción de vapor y generación de electricidad, de alta eficiencia energética, que permite reducir de manera importante la factura de energía de ciertas empresas, sin alterar su proceso productivo. La cogeneración se puede definir como la producción conjunta, de electricidad (o energía mecánica) y energía térmica útil, por el propio usuario. Este aprovechamiento simultáneo de calor, que lleva un rendimiento global más elevado, es lo que lo distingue de la autogeneración.

Diferentes Sistemas de cogeneración:

Para cogenerar existen diferentes sistemas, de los cuales destacan el sistema de turbinas de vapor, el de turbinas de gas, el de ciclo combinado, el stig, y el de motores diesel, o a base de combustóleo.

Sistemas de cogeneración a base de turbinas de vapor.

La principal ventaja que presenta la cogeneración con turbinas de vapor, es que pueden emplearse diferentes combustibles, tales como combustóleo, gas natural, carbón, madera o desechos industriales.

La energía mecánica producida por la turbina, generalmente se emplea para el movimiento de compresores o generadores, y el vapor de extracción se utiliza en procesos industriales diversos que requieren de calentamiento. Este sistema tiene una alta eficiencia que va del 65% al 85%, pero no genera mucha energía

eléctrica por unidad de vapor y requiere de 4,000 a 6,000 BTU de combustible /KWH. La confiabilidad en la operación del sistema es bastante buena, pues tiene pocos paros programados.

Sistemas de cogeneración con turbinas de gas.

En un sistema de cogeneración con turbinas de gas (Figura IV.3.) sus principales componentes son las turbinas y los recuperadores de calor para producir vapor a partir de los gases calientes de escape.

Para accionar los generadores se utiliza la fuerza mecánica de los gases de combustión, los cuales se encuentran a 550°C, aproximadamente. En ocasiones, este calor de los gases se aprovecha para el calentamiento directo de los procesos. En otros casos como en las plantas de fuerza con sistema cogenerativo, los gases de combustión se utilizan para generar vapor para proceso con la opción de utilizar combustible adicional para generar vapor de alta presión.

La eficiencia del sistema antes indicado es menor que la del sistema de turbina de vapor, no obstante, genera aproximadamente tres veces más energía eléctrica con igual cantidad de vapor útil para proceso. Requiere entre 5,500 y 6,500 BTU de combustible por KWH de energía eléctrica generada.

Sistema de cogeneración mediante ciclo combinado.

Este sistema utiliza tanto turbinas de vapor como de gas, para la misma cantidad de vapor disponible para proceso, genera cuatro veces más electricidad que con el sistema de turbina de vapor. El esquema de generación lo muestra la figura IV.4.

La eficiencia de este ciclo es del 72%, rendimiento menor al de turbinas de gas, que es del 77%, pues consume de 6,000 a 7,000 BTU de combustible por cada KWH de energía eléctrica generada.

Sistema de cogeneración STIG.

Si se tiene una mayor necesidad de electricidad que de vapor se recomienda utilizar el sistema de cogeneración STIG (Steam Injected gas turbine).

El proceso STIG permite incrementar la generación de electricidad en un 40% sin aumentar el consumo de gas.
Este es un aspecto que hay que tomar en cuenta cada vez más, pues la tendencia actual es aumentar la producción de energía eléctrica en los procesos, mientras que la proporción de energía térmica se va a ir reduciendo.

Por ello, con procesos como el STIG las industrias pueden adaptarse a estas nuevas tendencias.

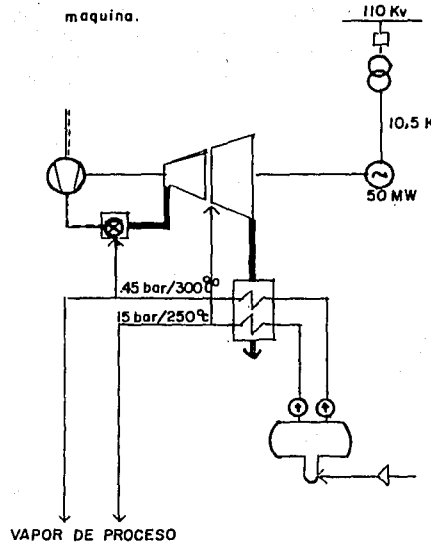


FIG.IV.3. TURBINA DE GAS

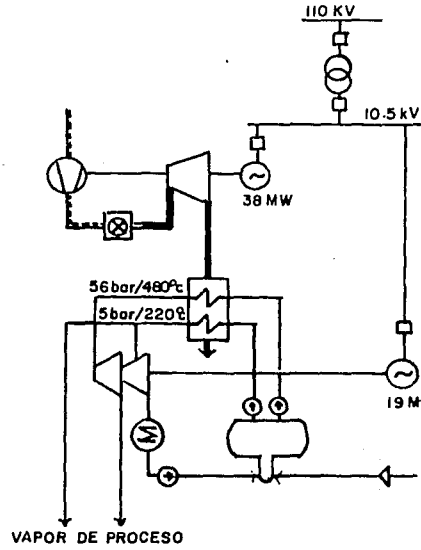


FIG.IV.4 CICLO COMBINADO

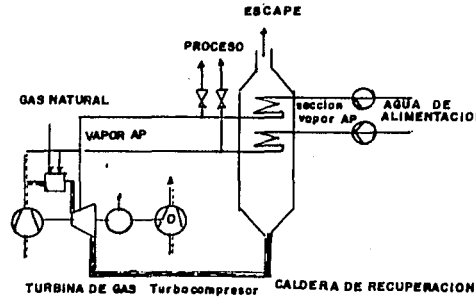


FIG.IV.5. PROCESO STIG

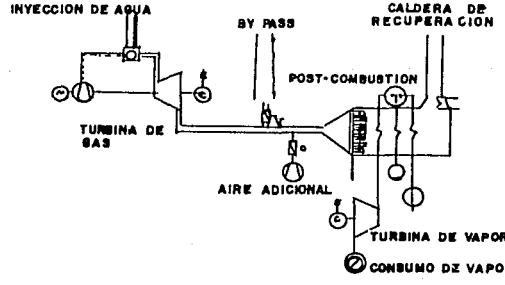


FIG. IV.6. RECUPERACION CON POST-COMBUSTION

La cogeneración en la ICP.

Como en la ICP se tienen grandes necesidades de vapor, se recomienda utilizar el sistema de ciclo combinado porque, como ya se señaló, utiliza tanto turbinas de vapor como de gas, lo cual le da mayor flexibilidad a las plantas de la ICP que cogeneran, para usar diferentes tipos de combustibles, ya sea combustóleo, gas, e inclusive carbón o madera de desecho, y porque además para una misma cantidad de vapor producida, genera a veces más electricidad que el sistema exclusivo de turbina de vapor.

Esto es muy importante ya que en las plantas de la ICP, se usan tanto el vapor de proceso como la electricidad en grandes cantidades, además en un momento dado si una planta produce todo el vapor de proceso que necesita, pero genera más electricidad de la que consume, este hecho será favorable, pues podrá vender a CFE o a otras industrias la electricidad que le sobre.

Otro proceso que podría convenir a la ICP es el STIG. En la medida en que las plantas vayan modernizando su tecnología y equipo, de tal manera que en un momento dado sean más sus requerimientos de electricidad que de vapor, en esa medida será más recomendable que cogeneren con el sistema STIG, pues éste permite precisamente producir más electricidad que vapor, y con la misma cantidad de gas permite generar 49% más electricidad que con otros procesos como el de turbina de gas o el del ciclo combinado.

Ejemplo de cogeneración en una fábrica de carbón utilizando el sistema de turbina de gas y caldera de recuperación con postcombustión. Esto se muestra en la figura IV.6.

Esta turbina de gas se usa como reforzamiento de su central existente basada en una turbina de vapor. Como particularidad de la misma merece destacarse su instalación, inyección de agua en la cámara de combustión de la turbina de gas como medio de reducir emisiones de NOX.

Situación anterior de la planta.

La central de energía disponía, antes de la ampliación, de dos calderas de vapor alimentadas con gas natural de 60 a 20 ton/hr generando vapor a 70 bar y 490°C la primera, y 61 bar y 480°C la segunda.

El vapor se consume a 4 bar y 170°C por un lado y a 2 bar y 150°C por otro lado. Para obtener este vapor a baja presión se dispone de tres turbinas de vapor que expanden el vapor generado a alta presión, obteniéndose de la expansión energía mecánica que a su vez sirve para accionar sendos generadores eléctricos de 9.9, 9.1 y 3.5 MW.

Situación actual en la planta. .

Para complementar la situación anterior y para dar cabída a nuevos crecimientos en la capacidad de producción que en la actualidad asciende a 250,000 ton/año, se dotó a la central de una nueva caldera de vapor a 70 bar y 490°C, con una potencia nominal de 40 ton/hr alimentada por los gases de escape de una turbina de 3.9 MW y con postcombustión de los mismos hasta una temperatura de la cámara de combustión de 1,500°C.

Análisis económico del sistema de cogeneración anterior.

Con unos precios de $ 0.016 dólares/ton equivalente para el gas y $0.073 dólares/KWH para la electricidad, se obtienen los siguientes resultados económicos:

Demanda de vapor:	90 ton/hr	85 ton/hr	80 ton/hr
Consumo de gas:	7400 m^3/hr	7000 m^3/hr	6600 m^3/hr
Con turbina de gas:	8200 m^3/hr	7783 m^3/hr	6950 m^3/hr

El consumo excesivo de gas se cifra en 6.67 millones m^3/año, a un costo de miles de dólares/año.

Producción de electricidad: Además de la producción de la turbina de gas, hay un incremento de producción de las turbinas de vapor generado, equivalente a 500 KW.

Así la demanda de electricidad disminuye en 33,400 MW a un costo de 2.42 mil dólares/año.

La cifra de ahorro desciende a 1.44 mil dólares/año y, tras descontar los costos extra del mantenimiento, se tiene un ahorro neto de 1.3 mil dólares/año. La inversión total ascendió a 6.8 mil dólares/año. (Una parte importante de esta cantidad corresponde a la nueva caldera de vapor).

Una vez más se observa que cuando se cumplen unas condiciones mínimas respecto a niveles de demanda energética, constancia en los mismos y duración anual razonable, la cogeneración es una alternativa que permite reducir de forma significativa los costos energéticos de la empresa.

A este sistema de cogeneración se le agregó un sistema de reducción de las emisiones de NOX por inyección de agua en la cámara de combustión de la turbina de gas situándose la cifra de emisiones en un valor de 150 ppm.

De lo anterior escrito puede concluirse que la cogeneración es un sistema que ayuda al ahorro y uso eficiente de la energía dentro de las industrias, disminuyendo el consumo de combustibles.

Por lo tanto, aunque las plantas de la ICP que cogeneran siguen demandando comunmente la misma cantidad de energía

(electricidad + calor) que cuando no cogeneraban y se compraba la electricidad a la compañía de luz y los combustibles a PEMEX o a quien los suministre; con la cogeneración tienen una ventaja económica, ya que obtienen la misma cantidad de energía pero a menor costo. La cogeneración implica realizar una inversión que ha de amortizarse en un plazo razonable.

Así, lo que en la industria que cogenera es una ventaja económica, a nivel nacional e internacional se convierte en una ventaja energética. Hay un ahorro de energía primaria, debido al aprovechamiento simultáneo del calor.

Típicamente el costo de instalación de una turbina de gas con un calentador de recuperación de calor en los Estados Unidos es de aproximadamente $ 450 dólares (de 1980) por kilowatt. Las eficiencias del sistema son de alrededor del 56 % comparadas con el 29-33 % para los sistemas de generación tradicionales [Ref.14].

Se hacen algunos esfuerzos para obtener pequeños sistemas de cogeneración viables desde el punto de vista económico, sin embargo, los mayores proyectos en esta área son aún de los grandes consumidores de electricidad.

Se estima que el 27% del consumo de energía en los Estados Unidos es suceptible de cogenerarse. Muchos factores determinan el plazo de amortización de una instalación de este tipo: el costo corriente de electricidad y el combustible, el patrón de uso de la electricidad y del vapor; y el costo de conversión, todo esto lo paga una planta por cualquier exceso de electricidad adquirida y utilizada por ellos.

Por otra parte la ICP generó más electricidad [Ref.22] que la que vendió en el principio de los años sesentas. La tendencia fue entonces el incremento de la energía cogenerada, sin embargo la energía comprada creció más. La razón de cogeneración de la ICP como un todo pasó del 55% en 1962 a cerca del 40% en 1977, porque el costo de la energía comprada fue bajo.

Las 189 plantas que cogeneraron en la ICP en 1983 tienen una capacidad total instalada de 3,764 MW y un tamaño promedio de 19.9 MW, esto en Estados Unidos. Los factores de capacidad de carga de los molinos de celulosa oscilan entre el 37 y el 96%. La mayoría de las fábricas que cogeneran usan turbinas de vapor de ciclos comunes o de ciclos combinados.

En Estados Unidos el combustóleo, los desperdicios de madera y el licor negro son los principales combustibles; el gas natural y el petróleo se usan como combustibles complementarios. Debido a los altos costos del petróleo, muchos molinos que lo utilizan están siendo adaptados para usar carbón.

Hay consenso entre los ejecutivos de la ICP sobre la necesidad de lograr una mayor eficiencia en el uso de energía y tecnologías de costo efectivo, si la industria quiere mantenerse a la cabeza en la competitividad.

Cualquier modificación o construcción de fábricas de celulosa, seguramente adoptará la cogeneración como un medio de reducir el costo de la energía y de incrementar la eficiencia de ésta. Sin embargo la mayor parte de la cogeneración en las fábricas de celulosa, resultará de adecuaciones en las fábricas ya existentes.

Para maximizar la generación de vapor y la conservación de energía, pueden modificarse los procesos ya existentes para fabricar celulosa y papel.

Las tecnologías de cogeneración disponibles para los molinos de celulosa deben reunir los siguientes criterios:

a) Proveer al proceso de vapor a 160 y 60 Psig.

b) Tener Una alta eficiencia de ahorro de energía.

c) Ser más versátiles.

d) Tener capacidad para usar licor negro y combustibles sucios, y para manejar las operaciones de carga con poca o ninguna cantidad de combustible fósil.

e) Ser aceptables desde el punto de vista ambiental.

f) Que tengan costos de operación razonablemente bajos.

Para el diseño del sistema de cogeneración pueden emplearse las siguientes opciones de dimensionamiento:

a) El uso de un calentador de equilibrio térmico genera vapor a una presión y temperatura sustancialmente más altas que las que necesita el proceso y está dimensionado para satisfacer solamente las necesidades térmicas del proceso. No se usa vapor para generación por condensación. El sistema está balanceado sin condensación.

b) El caso de máxima cogeneración genera más vapor y fuerza que la que necesita el molino para operar. Para los lugares donde no hay carbón, la cantidad de cogeneración está limitada por el suministro de combustible sucio.

Si un molino de celulosa ya existe, o si una decisión de mejoras redunda en unos cuantos puntos adicionales en las tasas de retorno de la cogeneración, la economía del sistema dependerá entonces del incremento de la efectividad de costo.

La discusión de la economía de cogeneración se enfoca a los requerimientos de incremento de la capacidad (dólares/KW) y al incremento de la tasa de calor (Btus/KWH).

La cogeneración en un molino de celulosa requiere del equipo siguiente para generar fuerza y para recuperación:

+ Un sistema de calentador de recuperación.
+ Un calentador recuperador de control de emisión.
+ Un sistema de generación por turbina.
+ Un sistema de calentador de combustible sucio (o calentado por carbón).
+ Un calentador de control de emisión a base de combustible sucio o calentado por carbón.
+ Sistemas auxiliares de planta de fuerza.
+ Distribución de vapor.
+ Cañones de chimenea.
+ Manejo y almacenamiento de combustible.

La tasa del incremento de calor influye en la competitividad económica de una planta industrial de cogeneración, contra una planta que genera unicamente vapor. El Cuadro IV.11. muestra las tasas de incrementos de calor para los 4 casos.

CUADRO IV.11.
COSTOS DE INCREMENTO Y TASAS DE CALOR PARA DOS DISEÑOS CONCEPTUALES DE 1985, MOLINOS DE CELULOSA BLANQUEADA KRAFT DE 1,000 TON/DIA DE CAPACIDAD. EN E.U.A. (Dólares de 1981)

MOLINO Y CASO DE COGENERACION.	COSTO TOTAL DE INCREM. (millones de dólares)	CAPACIDAD (MW)	COSTO MEDIO (dólares/mw)	TASA DE INCREM. DE CALOR(BTU/KW)
De equilibrio (molino del noreste)	$53.1	66.5	800	5,315
Cogeneración máxima	81.1	97.0	840	7,590
De equilibrio (molino de c. oeste)	56.5	65.6	860	5,165
Cogeneración máxima	109.9	105.0	1,050	7,927

FUENTE: Elements of a Plant Energy Audit. [Ref. 14].

Para los dos casos del de equilibrio térmico en los cuales el vapor de salida se utiliza completamente, la tasa de incremento de calor es de alrededor de 5,300 Btu/KWH, una tasa baja comparada con las 10, 000 Btu/KWH para una planta eficiente a base de carbón.

Cuando una cantidad creciente de vapor se condensa por la generación de electricidad, la eficiecia de la planta industrial de cogeneración declina y su tasa de calor se aproxima entonces a la de las plantas de vapor.

IV.4. MEDIDAS PARA MEJORAR AL MAXIMO EL USO DEL VAPOR Y LA ELECTRICIDAD EN LA PLANTA DE SAN JUAN DEL RIO, QRO., DE PRODUCTOS SAN CRISTOBAL.

Operación de la caldera.

Para poder distribuir la carga en las calderas con miras a obtener un ahorro de energia, fue necesario alimentar la [Ref.16] computadora con mediciones tales como la salida de combustibles, temperatura del agua de alimentación y su flujo, la temperatura y el flujo del vapor. Con éstas y otras mediciones que continuamente son registradas por el computador, se establecen los valores máximos, mínimos y promedio.

La computadora toma los valores promedio y calcula el combustible usado en Kcal, y el calor obtenido por la generación de vapor también en Kcal.

Distribución de carga en las calderas.

Las tres calderas de recuperación de productos San Cristobal tienen dispositivos para generar el licor negro y combustibles auxiliares. Las dos calderas de fuerza pueden quemar combustóleo o gas de acuerdo a la disponibilidad y costo de éstos, y de acuerdo a su rendimiento en las calderas.

La computadora compara el costo del vapor que se puede comprar a una compañía cercana, con el costo de producir vapor con el equipo propio de la planta, cuando la toma de decisiones concierne a la distribución de la carga de vapor y el despacho de turbogeneradores.

Por medio de una distribución efectiva de carga en las calderas se mínimizan los costos de la energía consumida en los procesos de papel:

- Para mejoramiento de la combustión.
- Datos de eficiencia en el manejo de calderas.
- Optimización del exceso de aire.

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

Una estimación conservadora del ahorro de energía potencial se puede hacer asumiendo que: 1% de reducción del porcentaje de oxígeno resulta en 5% de reducción del exceso de aire y se puede ahorrar un 0.5%. Un análisis termodinámico más riguroso, basado en combustibles específicos y en condiciones operativas, frecuentemente duplica los ahorros calculados por una suposición simple. Las reducciones típicas de O_2 pueden ir hasta 4% del total de O_2 (2 - 3% posible).

Datos que se requieren para mejorar al máximo el manejo de calderas:

+ Porcentaje de exceso de aire promedio u O_2 medido por prueba estática.
+ Dato de exceso de aire u O_2 recomendado por el fabricante.
+ Mimímo exceso de O_2 obtenible.
+ Temperatura ambiente anual promedio.
+ Costo total del combustible en $/Kcal.
+ Vapor total producido o promedio en el período tipíco.
+ Eficiencia operativa de la caldera aproximada que se acepta comunmente.
+ Entalpía del vapor producido más la presión y temperatura del agua de alimentación.
+ Poder calorífico del combustible empleado.

Despacho de turbogeneradores

Basados en la flexibilidad del paquete lógico de programación secuenciable, se descubren tres características en el despacho de turbogeneradores:

1) Control de alimentación eléctrico.
2) Distribución económica de la carga a turbogeneradores.
3) Balance del vapor comprado contra vapor generado.

Con está aplicación del programa de computo, se pueden operar los turbogeneradores con control automático computarizado, y en forma manual. El modo automático despacha los turbogeneradores a través de respectivos gobernadores de carga-velocidad.

El costo de la electricidad generada en los turbogeneradores 1, 2, 3 y el valor del calor aprobado a cada caldera que es necesario, se calcula así:

CF_1 = Kcal de combustible * $/kcal + kcal gas * $/kcal.
CF_2 = kcal de combustible * $/kcal + kcal gas * $/kcal.
CF_3 = kcal de licor negro * $/kcal + kcal combustible * $/kcal.

CR_2 = kcal de licor negro * $/kcal.
CR_1 = kcal de licor negro * $/kcal.
Donde:

CF = Caldera de fuerza.
CR = Caldera de recuperación.

Distribución económica de la carga

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

El rendimiento de cada uno de los cuatro turbogeneradores en productos San Cristóbal es directamente afectado por la cantidad de vapor suministrado a las unidades, así como las cargas que varían de acuerdo al área del proceso de 10 a 4 kg/cm^2.

La carga eléctrica para cada turbogenerador es determinada en base al costo por kilowatt de electricidad producida por éstos.

La proporción del calor de la turbina (kcal/KWh) y el costo del vapor de salida son usados para determinar que turbogenerador será despachado, con el objetivo de maximizar la fuerza generada mientras se mínimiza la carga de los alimentadores y los costos por la compra de energía.

Control de alimentadores.

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

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

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

Los ingenieros de control tienen la opción de seleccionar los límites de demanda que manejaría la computadora según los objetivos planeados. Si la demanda al alimentador se apróxima al límite, la computadora incrementa la carga eléctrica en el turbogenerador más eficiente, y al mismo tiempo notifica al operador que la demanda planeada está en riesgo de sobrepasarse.

Con esta estrategia de control la planta es capaz de maximizar el uso de sus alimentadores manteniendo al mismo tiempo las cargas de demanda tan bajas como sea posible.

Cogeneración

Como en este trabajo hay un apartado exclusivo y amplio que trata este tema, aquí sólo se anotarán algunas de las características de la cogeneración en la planta de San Cristobal.

En esta planta se cogenera con 2 turbinas de gas y 2 de recalentamiento. Los controles de la cogeneración son los siguientes:

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

Balance del cabezal de vapor

Durante las variaciones en la demanda de vapor condensado por el proceso, la planta puede distribuir el impacto entre los cabezales de 42 a 85 kg/cm^2 repartiendo las oscilaciones de la carga entre ambos sistemas de cabezales. Los beneficios significativos de estas medidas de control son:

1) Reducciones sustanciales del flujo de vapor que desperdicia energía a través de las estaciones reductoras de presión de acción rápida.

2) Un incremento en la cantidad de electricidad propia generada con la obvia reducción de los costos de electricidad comprada.

En San Cristobal la generación de vapor se logra mediante 3 calderas recuperadoras que funcionan con licor negro o con un combustible auxiliar, además de dos calderas de fuerza que utilizan gas o combustibles. Estas calderas suministran vapor hasta 42 kg/cm^2 para la generación de electricidad y para uso en las áreas del proceso. Adicionalmente se compra vapor a 85 kg/cm^2 de la central de servicio cercana a la planta, que es empleada para la generación de energía, según las demandas.

Debido a las complejas interacciones de la generación de vapor y electricidad, para satisfacer la demanda de la planta al más bajo costo, productos San Cristobal adquirió una computadora industrial que aplica el sistema de ahorro de energía, para la medición y el cálculo de los costos de generar y comprar energía (vapor y electricidad), además de ser una útil herramienta para el operador y director en la toma de decisiones.

CAPITULO IV

MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA

Aprende siempre de los demás.
El que se enseña a si mismo, tiene
por maestro a un necio.

OG MANDINO.

CAPITULO V. INSTRUMENTACION DE UN PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL (ICP).

V.1. ORGANIZACION DEL COMITE DE ADMINISTRACION DE ENERGIA EN UNA PLANTA DE LA ICP.

No es posible llevar a cabo un programa de ahorro de energía si se carece totalmente de los medios y de los recursos humanos adecuados para ello.

Muchas veces se piensa [Ref.15] que lo mejor es poner expertos en energía al frente del comité de energía, aunque estos expertos sean de fuera. Sin embargo, si se toma en cuenta los inconvenientes que tiene un personal poco familiarizado con ciertos aspectos de los procesos, las reticencias de los empresarios para dar a conocer sus datos de fabricación, y la exigencia de una continuidad en el programa de ahorro de energía, se ve que es más conveniente crear una organización nueva dentro de la propia empresa, adoptada ya por diferentes industrias en el mundo y que está obteniendo muy buenos resultados. En México apenas se empieza con este tipo de trabajo.

La diversidad de empresas industriales, su dimensión y ámbito de actuación, la distinta repercusión de la energía en sus costos de producción, la diferencia de posibilidades de ahorro de energía que pueden producirse, sus distintas capacidades y posibilidades técnicas y sus diferentes sistemas organizativos, impiden una generalización en cuanto a la forma de organizar la administración energética en las mismas. A pesar de lo anterior hay algunas características comunes en los comités de administración de energía, como las que se describen a continuación.

La primera es el reconocimiento de la importancia de esta función. Es fundamental el respaldo explícito de la dirección de la empresa para poder apoyar a quien va a ejecutar el programa de la gestión energética.

La segunda característica es la dedicación exclusiva a los objetivos establecidos en el programa. Está demostrado que en los casos de responsabilidad compartida con otras tareas, los resultados son escasos y de segunda o tercera prioridad.

La tercera característica es la formación técnico-económica de la persona o personas que desempeñen estas tareas y que se traduce en un prestigio reconocido a todos los niveles de la empresa.

La cuarta característica es la facultad de hacer participar en el programa a los responsables, efectivos de las unidades consumidoras de energía y a los distintos departamentos afectados.

En resumen la estructura debiera ser específica y única para evitar interferencia. Además debe depender directamente de la dirección, ya que sin el apoyo de ésta, el programa carecería de la fuerza suficiente para lograr la colaboración de todos los implicados.

Según las experiencias de otros países, es conveniente la creación de un comité de administración de energía y la designación de un presidente, coordinador o gerente de energía, que lo presidirá. El comité de administración energética debe atender a la selección, aprovisionamiento y consumo de la energía en la industria para lograr una utilización racional de la misma, lo que no equivale necesariamente a un ahorro sino a una correcta administración energética de acuerdo a las condiciones específicas de cada caso.

Objetivos.

El objetivo principal del comité de administración energética (CAE) será el establecimiento y puesta en marcha de un programa de administración de energía que incluya, de acuerdo con la política general de la planta en cuestión; del sector a que pertenezca, en este caso al de la celulosa y el papel, y del país, los siguientes programas:

Programa de concientización y de formación de recursos humanos, a corto, a mediano y a largo plazo. Para cada uno de estos programas pueden establecerse como funciones más importantes las siguientes:

+ La promoción, estableciendo una política de acción bajo objetivos fijos.
+ La asistencia, prestando la ayuda técnica y bibliográfica necesaria.
+ El seguimiento de los programas acordados y control de las líneas de acción de los programas alcanzados.
+ La comunicación, mediante una política de información permanente entre todos los departamentos de la empresa.

Las actividades que concretamente destacan más son las siguientes:

- Asesorías a la dirección de la planta en temas energéticos y promoción de nuevas técnicas.
- Establecer una contabilidad energética y un sistema de auditorías energéticas periódicas.
- Participar en estudios y proyectos energéticos y realizar un seguimiento de lo que se ponga en marcha.
- Elaboración de manuales operacionales para el buen uso de la energía.
- Intensificación del mantenimiento energético.
- Preparar y poner en práctica campañas de concientización.

- Colaborar en temas energéticos con empresas del sector y del entorno geográfico.
- Relacionarse con organismos universitarios y oficiales que tengan que ver con la energía.

Forma de integración del comité.

El comité de administración energética deberá estar integrado por personas calificadas, con suficientes conocimientos técnicos y de operación, para poder establecer así un programa de actuación por objetivos. La figura V.1. da un ejemplo de la estructura posible de un comité.

La composición del comité dependerá de la propia estructura de la fábrica de celulosa y papel y de la importancia de sus consumos energéticos.

En este comité están representados todos los departamentos, con la suficiente capacidad de decisión para desempeñar eficientemente las funciones que tienen asignadas.

En los casos en que en un departamento se agrupan diferentes servicios con participación directa en la cuestión energética (por ejemplo: producción, fabricación, ingeniería técnica, comercial, compras, etc.), cada uno de ellos deberá tener representación directa en el comité o en los grupos de trabajo que éste forme.

El comité de administración energética podría formarse por un presidente nombrado por la dirección y un representante de los siguientes departamentos:

- Producción
- Ingeniería
- Mantenimiento
- Control de calidad
- Administración
- Impacto ambiental (En caso de que exista).

Cuando una empresa tenga varias plantas o cuando varias empresas de un sector colaboran en tema del ahorro de energía, es conveniente crear comités en cada una de ellas y comités coordinadores que promuevan el intercambio de experiencias y mantengan contacto con otros organismos tanto nacionales como extranjeros.

V.1.1. Funciones y atribuciones del gerente de energía.

La figura del coordinador de gestión de energía es necesaria, puesto que él es quíen se encarga de enlazar los diferentes establecimientos, de promover y transmitir ideas,

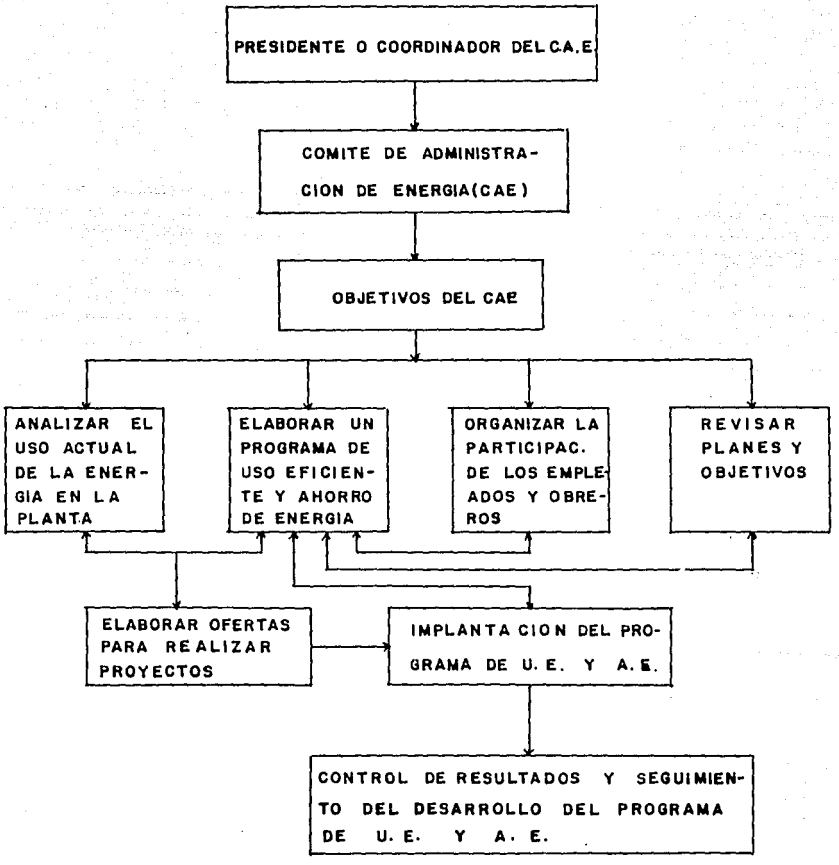


FIG. V.1 ESTRUCTURA DEL COMITE DE ADMINISTRACION DE ENERGIA

FUENTE. Adaptación propia de la estructura propuesta en la [Ref. 15]

controlar los programas, estimular a los miembros del comité y en general crear conciencia a todos los niveles.

El coodinador o gerente de energía en una planta grande debe ser un técnico calificado en combustibles, o un ingeniero con experiencia en métodos de costos y en evaluación financiera de proyectos de capital. Pero principalmente el gerente necesita habilidad para solicitar y coordinar la ayuda de sus colégas.

Además deberá tener libre acceso a la información en materia de energía. En general sus obligaciones precisas dependerán del tamaño y del tipo de empresa en la cual trabaje.

Por otra parte este puesto debe ser de dedicación exclusiva y ser desempeñado por una persona de reconocida capacidad, formación y prestigio dentro de la empresa para que pueda llevar a cabo con éxito las diferentes tareas que implica un programa de gestión energética.

Entre las atribuciones del coordinador se tienen:

+ Podrá pedir todo tipo de datos a otros departamentos y ordenar la realización de ensayos, toma de datos y análisis.
+ Ordenará si necesita la compra de equipo especial y la instrucción de los empleados.
+ Podrá disponer de personal colaborador bajo sus órdenes directas y contará con el presupuesto adecuado.

Las funciones más importantes del coordinador o gerente de la administración energética, son la supervisión de las medidas de ahorro de energía, estableciendo periódicamente los objetivos a lograr; coordinar la elaboración e implantación del plan de ahorro, y también su seguimiento. Para lograr lo anterior se requiere:

- Controlar el aprovechamiento de todo tipo de energías, su almacenamiento y su consumo por centros o unidades productivas; obtener una estadística periódica de los mismos y de los indicadores correspondientes.

- Hacerse responsable de la ejecución de las auditorías energéticas en la planta; al identificar en que áreas se requiere mayor estudio.

- Identificar dónde se desperdicia la energía, cuantificar las pérdidas, promover recomendaciones para evitarlas y preparar el plan de actuación energética; programar sus distintas actividades, tanto en sus aspectos de comunicación al personal y formación del mismo, como en la elaboración de las propuestas concretas de actuación; variar técnica y económicamente la repercusión de cada una de ellas.

- Asegurarse que los cambios en las instalaciones facilitan el ahorro de energía al mantener un control eficaz del resultado de las acciones del plan.

- Asesorar permanentemente a los diferentes departamentos y a la dirección sobre técnicas de ahorro de energía, nuevos métodos o equipos, posibilidades de utilización de fuentes de energía no convencionales, y en general, cualquier información referente al ahorro y empleo eficaz de la energía en la industria.

- Coordinar las relaciones con otras empresas similares, organismos públicos, centros de estudio e investigación, organizaciones profesionales, ingeniería, auditores, fabricantes y suministradores de energía con el fin de mantener al día la información que le permita desarrollar exitosamente sus actividades.

- Representar a la planta en otros comités de energía del sector y en los que su propia empresa haya organizado ya sea con carácter nacional o internacional.

En resumen el coordinador de gestión energética debe formar parte del equipo de trabajo de la dirección de la empresa y sus actividades se desarrollan en tres niveles: relaciones con la administración, relaciones con los diversos departamentos de su empresa y relaciones con otras entidades energéticas.

Muchas veces un programa de ahorro energético fracasa, aunque esté bien concebido, por no disponer de los medios necesarios para ejecutarlo. Los resultados que pueden obtenerse del trabajo de un equipo bien dotado compensan con creces la inversión (generalmente baja) que se efectúa en el mismo.

El número de personas y de los medios materiales con que deberá dotarse este servicio depende evidentemente del tamaño de la industria y del grado de autosuficiencia que quiera dársele. Hay que señalar que el personal deberá de formarse con técnicos especializados en energía, con el suficiente conocimiento de los sistemas, equipos, materias primas y otros productos implicados o fabricados en la industria.

Los medios que necesariamente han de ser propios deben poder asegurar la realización de las siguientes actividades:

- Efectuar la contabilidad energética de la planta.
- Establecer, planificar y analizar los resultados de una auditoría energética global.
- Estudiar técnica y economicamente la viabilidad de actuaciones concretas que puedan proponerse.
- Inspeccionar los sistemas energéticos y planificar y organizar campañas informativas, cursillos de formación y otras actividades de conservación y publicidad.

Pero hay otros medios que no necesariamente deben ser propios de la industria en cuestión, sino que pueden conseguirse exteriormente como:

- Las auditorías energéticas.
- El mantenimiento y la asistencia muy especializados.
- Aparatos excepcionales de medida y medios de ensayo para recepción de material energético.

V.1.2. Rentabilidad del funcionamiento de un comité de administración energética.

Un detalle que no hay que olvidar cuando se va a establecer un servicio de energía es su rentabilidad. Esta es fácil de calcular al comprobar si el costo del servicio es inferior al ahorro económico que proporciona.

Si se supone que el consumo de energía es E y su precio P, y que como consecuencia de la gestión energética se reducirá en delta E, si bien, a costa de un incremento del precio, P, debido al costo de la gestión, entonces el análisis lo da la siguiente fórmula:

$$E \times P - (E - E)(P - P) > 0$$

O sea, si lo anterior se verifica, es que conviene pagar un servicio o hacer una inversión al respecto.

Conviene hacer periódicamente este tipo de análisis, conforme avanza la ejecución del plan de ahorro energético, con la finalidad de conformar constantemente la rentabilidad del esfuerzo en el mismo.

V.2. PUNTOS PARA LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS DE LA ICP.

V.2.1. Lineamientos Metodológicos para Elaborar el Programa de Ahorro de Energía.

Existen varias metologías para elaborar un programa de uso eficiente y ahorro de energía, pero en este caso se describirá el siguiente:

Para elaborar un programa de uso eficiente y ahorro [Ref.26] de energía, primero deben de fijarse los objetivos que persigue el mismo, pues este constituye la base inicial del programa con el fin de canalizar y unificar fuerzas en pro del ahorro, para lo que se tendrán en cuenta los consumos específicos de los energéticos y los rendimientos de los distintos procesos productivos.

Algunos de los objetivos fundamentales de un programa de uso eficiente y ahorro de energía deben ser los siguientes:

- Hacer un diagnóstico lo más real posible del estado energético que guarda la planta donde se va a aplicar el programa de ahorro de energía.

- Organizar la participación de los directivos, de los empleados y los obreros de la planta en cuetión.

- Elaborar ofertas para relizar proyectos.

- Implantación del programa mismo de uso eficiente y ahorro de energía.

- Controlar los resultados y seguir el desarrollo del programa de uso eficiente y ahorro de energía.

- Estudiar las posibles innovaciones tecnológicas.

- Integrar y optimizar los procesos para elaborar celulosa y papel.

También es necesario realizar una programación de actividades en dos órdenes, el técnico y el administrativo.

Aspectos de Orden Técnico.

+ Diagnóstico: Realizar un diagnóstico energético en la planta donde se va a poner en marcha el programa de uso eficiente y ahorro de energía.

+ Evaluación del programa.

+ Determinación de medidas de ahorro de energía.

+ Evaluación técnica y económica del programa de ahorro de energía.

+ Jerarquización de los objetivos y metas que se quieren lograr con el programa.

+ Presentación de proyectos a la dirección de la empresa para que sean aprobados con o sin modificaciones.

+ Hacer planteamientos para la presentación.

+ Hacer un planteamiento presupuestal.

+ Programación de desarrollo y aplicación de medidas de ahorro de energía.

Para poder llevar acabo esta etapa es necesario programar los paros que se requieren para instalar los nuevos equipos, por ejemplo generadores de vapor o de gas para un sistema de cogeneración, economizadores, prensas para secado del papel o de la celulosa por medios mecánicos, etc.

- Posteriormente se requiere realizar una evaluación de las medidas aplicadas, para ver si técnicamente mejoraron el proceso, y para ver si se cumplieron las espectativas de ahorro de energía que se tenían al llevar a la práctica las medidas de ahorro acordados.

- Finalmente se realiza una evaluación técnica y económica global, para ver si, desde el punto de vista financiero, fueron redituables las medidas puestas en marcha.

Actividades de Orden Administrativo.

- Lo primero que se hace es una estimación del presupuesto inicial para poder elaborar cualquier proyecto, tanto en lo material como en lo humano. Es decir hay que calcular el costo de algunos aparatos de medición de consumos energéticos, de flujo, presión, temperatura, gasto, voltaje, amperaje, etc. Y contar con el personal necesario capacitado para realizar estas actividades.

- Hay que tener una idea lo más precisa posible de cuánto personal es necesario y cuánto tiempo se va a invertir en el proyecto que se vaya a realizar.

- Otro aspecto o actividad administrativa muy importante es el control del programa.

- Para esto es necesario elaborar un calendario de desarrollo de actividades y en base a él calcular los tiempos de cada actividad a realizar.

- Hay que calcular y precisar los tiempos invertidos por el personal que estará trabajando en el programa.

- Saber que equipos, reactivos y materiales se van a utilizar en la puesta en marcha del programa.

- También se requiere precisar los tiempos de desarrollo de las medidas que se haya determinado llevar a cabo.

- Determinar los tiempos que tardará su aplicación.

- También se requiere calcular los tiempos de arranque y pruebas de las medidas o cambio que se vayan a poner en marcha.

Todas las actividades tienen un costo que es necesario determinar. Para tener idea del costo del programa con el correr del tiempo, se puede graficar precisamente gastos contra tiempo; o también se puede gráficar el porcentaje de avance contra el tiempo, para ver el avance del programa. Finalmente si se quiere saber cuánto está costando el avance, o cuántos han sido los gastos en relación al avance del programa, se puede graficar gastos en pesos o dólares contra avance.

V.2.2. Características principales de un programa de ahorro de energía.

Para poder llevar a cabo las medidas [Ref.15] y acciones, que hay que realizar para lograr el uso eficiente de la energía, y consecuentemente ahorros en la misma, es necesario instrumentar todo un programa o plan al respecto, el cual deberá ser escrito, justificado, con responsabilidades definidas, que cuantifique económicamente, comprometido en objetivos, revisado periódicamente, con participación de todos los niveles.

a) Escrito.

En la vida diaria de una empresa muchas instrucciones son dadas oralmente, pero para una acción continua, importante y de amplia repercusión hay que recurrir a las instrucciones escritas. Este es el caso de un programa de ahorro de energía.

b) Concreto.

Por supuesto que el programa no puede ser la simple enunciación de principios generales y buenas intenciones, por lo que deberá ser claro y conciso, y debe definir acciones específicas y concretas.

c) Justificado.

A nadie que sea responsable de su trabajo le gusta realizarlo sin tener claros los motivos del mismo. Por eso, el programa en su conjunto debe tener una justificación clara y así mismo deberán estar justificadas todas sus acciones.

d) Cuantificado económicamente.

Como cualquier análisis, la auditoría debe ser expresada en cifras. Puesto que la energía cuesta dinero, los resultados de una auditoría deben darse tanto en unidades de energía, como en unidades monetarias.

Por lo tanto hay que cuantificar economicamente la situación actual de cada unidad y de cada centro, evaluar los objetivos y conocer así la rentabilidad prevista de cada medida proyectada.

e) Con responsabilidades definidas.

Cada actividad debe tener un responsable directo. La gestión energética en la planta debe ser responsabilidad del coordinador de gestión energética y del comité de energía. Pero el programa exige actuaciones del personal de todos los departamentos de la empresa y hay que determinar las responsabilidades de este personal. Pues sólo cuando cada uno conozca en un documento escrito la labor concreta que se le encomienda, su justificación económica y cuál es su responsabilidad, podrá abordarla con decisión.

f) Comprometido en objetivos.

Un programa débil en objetivos, no obtendrá sino pobres resultados. El programa de la energía exige inventiva, iniciativa, riesgo y compromiso. La resistencia al cambio ha sido tradicionalmente la causante de los retrasos en la introducción, a la industria de innovaciones tecnológicas.

Hay que analizar las posibilidades técnico-económicas de sustitución de equipos que ya cumplieron su objetivo y que hoy día son obsoletos y por lo tanto deben ser desechados.

Se debe estudiar el cambio de sistemas productivos o de organización del trabajo. Analizar las posibilidades de sustitución de combustibles y la incorporación de energías alternativas en la industria.

El programa de ahorro de energía en la industria debe tener un alto grado de compromiso para hacer innovaciones que motiven a todos los que trabajan en él.

g) Revisado periódicamente.

La definición más acertada de programa de ahorro de energía es aquélla que lo caracteríza como un control de costos de energía ajustado, preciso y continuo. La constante variación de precios de los suministros de energía obliga en sí misma a revisar los balances energéticos en su aspecto económico y la valoración de las distintas medidas contenidas en el programa de ahorro de energía.

h) Con participación de todos los niveles.

El programa deberá tener participación en todos los niveles de la empresa, tanto en su elaboración como en su seguimiento.

Aunque la responsabilidad del programa corresponde al coordinador de la administración energética y al comité respectivo, en su elaboración deben participar todos los departamentos con sus sugerencias, análisis y propuestas de

medidas a tomar. De igual manera hay que informar a todos los niveles de los resultados de las medidas que se llevan a cabo, ya que ellos son corresponsables. Además, el programa de ahorro de energía no debe ser una actividad ajena sino formar parte de las labores de cada uno de los integrantes de la planta.

V.2.3. Objetivos del Programa.

El establecimiento y fijación de objetivos es la base inicial del programa con el fin de canalizar y unificar fuerzas en pro del ahorro, para lo que se tendrán en cuenta los consumos específicos de los energéticos y los rendimientos de los distintos procesos productivos.

Las posibles mejoras que resulten de la auditoría energética, pueden clasificarse en tres grandes grupos:

a) Concientización y motivación del personal.
b) Mejoras que no requieren inversión o que la requieren muy pequeña, como el mantenimiento energético y el cambio del modo de operación.
c) Mejoras que requieren de una inversión significativa tales como:
   - Modificación de materiales y equipos.
   - Innovaciones tecnológicas.
   - Integración y optimización de procesos.

Por supuesto que primeramente se tomarán las medidas que no requieran inversión. Las medidas de ahorro energético se pueden analizar de acuerdo a que la inversión sea nula, pequeña, mediana o grande y que su período de amortización sea inmediato, a corto, a mediano o a largo plazo. Estas características se pueden específicar en un cuadro como el V.1.

CUADRO V.I.
ESQUEMAS DE INVERSION.

	PERIODO DE AMORTIZACION			
INVERSION	**INMEDIATO**	**CORTO**	**MEDIANO**	**LARGO**
Sin inversión				
Pequeña				
Mediana				
Grande				

FUENTE: Técnicas de Conservación Energética en la Industria.

V.2.4. Subprogramas de concientización del personal.

Un plan o programa de ahorro energético sólo será positivo si mantiene el interés participativo de todos los miembros de la planta.

La concientización del personal se debe llevar a cabo mediante campañas de motivación, formación y entrenamiento para garantizar una correcta ejecución del plan de ahorro de enegía.

Motivación.

Ningún programa de ahorro de energía será exitoso, sino se logra la motivación del personal a todos los niveles. Los medios que se pueden utilizar para lograrla son folletos, lemas, carteles, formularios, conferencias, charlas, mesas redondas, concursos, visitas, encuestas, etc.

Con el objetivo de hacer sentir que el programa es de todos y a manera de estímulo, es necesario realizar reuniones periódicas con el personal para mantenerlo informado sobre el curso y los logros del programa de energía.

Objetivos fundamentales de la motivación.

Los objetivos fundamentales de la motivación serán obtener que el personal en un tiempo razonable sea capaz de operar un equipo con el mejor rendimiento posible. Otro objetivo será el que se propongan posibles medidas para ahorrar energía, ya sea a través de modificación de los modos de operar, de uso de dispositivos de ahorro, de instrumentación de control o de modificación y cambio de materiales y equipo.

Lanzamiento de la campaña de caracterización. El éxito de la campaña será consecuencia del cuidado con el que se hayan preparado los siguientes puntos:

+ Elección del momento más oportuno para su inicio, por ejemplo en los tiempos de alza del precio del combustible, de dificultades momentáneas de aprovisionamiento, etc.

+ Que forme parte de la política de la dirección. Esto puede lograrse a través de una reunión de departamentos y de la difusión de una nota informativa donde se expliquen claramente las razones de la campaña, importancia de la energía para la empresa y el papel que cada uno juega en la reducción del consumo de energía.

+ Distribuir una relación de recomendaciones generales para reducir el consumo de energía y de ser posible la fijación de objetivos concretos como pueden ser porcentajes de disminución de consumos específicos.

+ Llamado a la creatividad de todos y cada uno de los miembros de la planta para que hagan sus sugerencias para ahorrar energía.

+ Realización de un concurso para premiar las mejores ideas para el uso eficiente y el ahorro de energía en la planta.

+ Difusión de la información, en especial de ejemplos concretos de realizaciones:

Los puntos u objetivos que se pueden incluir para el desarrollo de la campaña de concientización del personal deberán incluir los siguientes aspectos:

- Búsqueda de consumos inútiles; máquinas en funcionamiento que no se aprovechan, alumbrado a plena luz del día, etc.

- Exceso de calefacción o de ventilación en los locales. Por lo que se sugiere poner termostatos o cuidar que no haya puertas abiertas, vidrios rotos, equipos de ventilación bloqueados, etc.

- Localización de fugas de vapor, aire comprimido y combustibles.

- Mantenimiento de quemadores, aislamiento, control del punto de funcionamiento y del estado de los equipos de control y medición, limpieza de las superficies de intercambio de calor, hermeticidad de puertas y puntos de observación.

- Observación rigurosa de las labores de operación (regulación de combustión, período de parada, reducción de tiempos de carga, etc.).

Es muy importante que los resultados de la campaña sean publicados para que todo el personal los conozca. Estas publicaciones podrían contener los fines aún no alcanzados, nuevas consignas y programas concretos a realizar.

Formación y entrenamiento.

Es necesario que el personal adquiera el grado de formación adecuado a su puesto de trabajo. El personal que más pueda influir en el ahorro energético, como el de calderas, hornos, secadores, etc., es el que ha de ser objeto de un entrenamiento profundo, de tal manera que entienda la repercusión económica que tiene en el consumo de energía la conducción correcta y el funcionamiento adecuado del equipo que tiene encomendado, a la inutilidad de tener máquinas en servicio cuando no se requieren para la producción.

Los procedimientos empleados pueden ser muy diversos, desde cursos de información básica y perfeccionamiento profesional,

hasta programas monográficos preparados de forma amena y participativa.

Las técnicas de dinámica de grupos pueden ser muy eficaces en estos casos si se utilizan en jornadas de estudio, mesas redondas, cursos diversos, manuales de operación y folletos de principios básicos.

Se debe resaltar la práctica de la dinámica de grupos y de las técnicas de aprendizaje, con el fin de multiplicar los efectos y la conveniencia de llevar estos cursos o programas de manera amena.

Los cuestionarios o pruebas son un instrumento muy eficaz para comprobar el progreso alcanzado, y para hacer propias las ideas adquiridas.

El personal debe comprender que para llegar al objetivo final del programa de ahorro energético es necesario corregir los excesos y derroches, los cambios operacionales y los industriales en cambio de equipos y procesos.

V.2.5. Mantenimiento y mejoras del modo de operación.

La lenta degradación a que se ven sometidos los equipos, hace que no funcionen en condiciones óptimas. Para evitar estas deficiencias se requiere del mantenimiento energético mediante una serie de revisiones periódicas durante las que se detectarán las anomalías existentes para subsanarlas en el tiempo más breve posible.

Estas acciones serán más necesarias en ciertas partes de la instalación en las que normalmente no existe una persona responsable a cargo de ellas, como las conducciones de fluidos, red de purgadores, etc. Para ello es necesario definir una serie de áreas o zonas de intervención y elaborar las listas de verficación correspondientes, los puntos a inspeccionar y las medidas a tomar.

La periodicidad de estas inspecciones deberán programarse de antemano. Se aconseja hacer visitas diarias a puntos críticos de la instalación (purgadores, reglaje de quemadores) y semanarias más completas.

Se utilizará un reporte tipo de inspección, en el que deberán figurar las causas principales del desperdicio en una columna, para que sirvan de guía en la inspección y a continuación cada uno de los departamentos existentes en la fábrica. Una vez lleno el reporte, se entregará al coordinador quién se hará cargo de ejecutar o desechar las recomendaciones, de acuerdo a las necesidades de la planta.

Es obvio que la acción del inspector no debe restringirse solamente a anotar las pérdidas, sino que intervendrá para corregirse las pequeñas deficiencias que pueda encontrar, tales como parar un ventilador, reglar un purgador, etc. También puede aportar razones técnicas que sirvan para elaborar las reglas para el posible ahorro de energía; dialogar con el personal de producción para informarse de las dificultades observadas. Conocerá la producción, las herramientas utilizadas en la instalación, y los puntos en que deberá invertir particularmente. Tendrá conocimientos profundos de la correcta utilización de la energía, especialmente para asesorar tecnicamente al personal de operaciones.

En seguida se consideran una serie de aspectos con el fin de efectuar un mantenimiento energético eficaz en las distintas áreas.

Generación de vapor.

Para generar vapor en las mejores condiciones, es conveniente almacenar y preparar correctamente los combustibles que se utilizan para generarlo.

Tanto los quemadores como las calderas y los depósitos deben estar limpios, libres de corrosiones y ser sometidos a reglaje. El proceso de la combustión de los combustibles empleados debe regularse mediante la revisión constante de sus sistemas de control.

No debe descuidarse el tratamiento de las aguas que se utilicen en el proceso, pues de ello depende en gran parte que se evite la corrosión de las calderas, turbinas y tuberías, éstas a su vez deberán estar aisladas térmicamente lo mejor posible para evitar fugas de vapor y por tanto de calor.

Redes de vapor y condensados.

En las redes de vapor y condensados se deben inspeccionar, verificar y reparar los purgadores de vapor con frecuencia para que la descarga del condensado se haga a tiempo y éste no ocasione problemas. El aislamiento de las líneas conductoras de vapor es imprescindible, así como también en los elementos accesorios, de otra manera se estaría fugando mucha energía térmica a través de las tuberías.

Cuando existen fallas en los ductos o tuberías de vapor, deben ser reparadas de inmediato para evitar fugas; además se deben mantener en buen estado y funcionamiento las válvulas, juntas de bridas, etc. La figura V.2. muestra el aumento en el consumo de combustible en función del porcentaje de los condensados no recuperados.

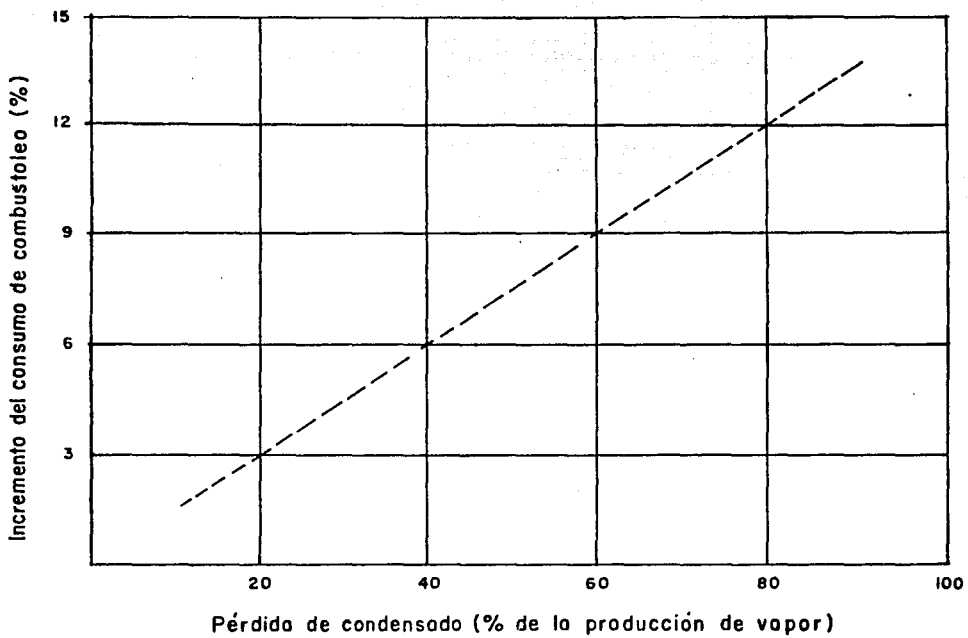


FIG.V.2 PERDIDAS DE CONDENSADOS

Equipos eléctricos.

El equipo eléctrico debe funcionar lo mejor posible para evitar desperdicios de energía, por lo tanto es necesario inspeccionar los transformadores para verificar la cantidad de aceite de refrigeración que deben tener. Revisar en las cabinas los contactos, uniones, el aislamiento y comprobar si las resistencias son adecuadas.

El alumbrado puede ocasionar bastante desperdicio de energía si no es adecuado, por lo tanto es conveniente revisar el estado de las lámparas, su capacidad, los niveles lumínicos que se requieren en cada lugar, y las posibilidades de automatizar la iluminación.

Si existen sistemas de baterías hay que verificar su buen funcionamiento frecuentemente, y hacer lo mismo con los interruptores eléctricos.

Control de la combustión.

Para tener una buena combustión es necesario controlar la relación aire/combustible, tener una programación adecuada, una operación correcta e inspeccionar el aislamiento para reparar sus fugas.

Además, es necesario optimizar el plan de marcha y revisar periódicamente los sistemas de control. Esto se trata con detalle en el capítulo IV inciso IV.2.3.

Aire comprimido.

Aquí los aspectos que deben considerarse son el mejoramiento de la eficiencia del sistema de distribución del aire, el rendimiento, la reutilización del agua y del aire caliente de refrigeración.

Climatización.

Dentro del área de calefacción, refrigeración y acondicionamiento es necesario obtener una temperatura límite óptima, realizar una ventilación correcta, tener funcionando lo mejor posible a los sistemas de control, y aislar termicamente los edificios y las instalaciones que tengan calefacción o aire acondicionado.

Operaciones de secado.

El secado es una operación que en las ICP consume grandes cantidades de energía, por lo tanto es conveniente tomar todas las medidas posibles que conduzcan a obtener ahorros de energía en esa área.

Algunas de estas medidas son el control de la humedad adecuada del producto para no caer en excesos innecesarios, realizar en lo posible un secado mecánico, o con aire y con sol en lugar de utilizar energía térmica.

Se deben aprovechar al máximo los calores residuales, tener una temperatura de secado lo más elevada posible, controlar la combustión, aislar los secadores para evitar fugas de aire caliente, y en general regular todas las operacioines del secado para hacerlas más eficientes.

Trasporte.

En este renglón se debe utililizar la capacidad de transporte de insumos y productos al máximo, y hacer el transporte por gravedad.

Instalaciones frigoríficas.

En ésta área debe tenerse especial cuidado en matener eficazmente al edificio o cámaras frigoríficas mediante un buen aislamiento que incluya puertas de antecámaras. Además, deberán evitarse las pérdidas de frío en la cámara y en el transporte, y utilizarse un equipo frigorífico adecuado al uso del mismo y mantenerlo limpio.

Mejoras del modo de producción.

Generalmente siempre existen grandes posibilidades de mejora en la marcha de un proceso. A este aspecto se le debe dedicar gran atención y se puede dividir en dos conceptos.

a) Optimización de las variables de operación.
b) Optimización del régimen de trabajo.

Para cada uno de estos aspectos deberá elaborarse una lista de mejoras: los centros de interés son los mismos que los mencionados para el mantenimiento, pero ahora bajo el ángulo de las variables de funcionamiento.

Variables de operación.

Las principales operaciones cuyas variables de proceso son reguladas y controladas para mejorar su rendimiento son las siguientes:

- Combustión: preparación de combustibles, relación aire-combustible, control de la composición de gases, temperatura de humos, tiro de chimenea, etc.

- Generación y distribución de vapor: Control de la presión, de la temperatura de vapor y de los condensados, control de las

pérdidas, de la pureza del agua, optimización de los flujos de vapor, etc.

- Secado: Control de temperatura de secado, de la temperatura de vapor, y de los condensados, control de las pérdidas, de la pureza del agua, optimización de los flujos de vapor, etc.

- Intercambio de calor: equilibrio de flujos, control de temperaturas, eficiencias de intercambio, coeficiente de transferencia, aprovechamiento de la superficie de intercambio, etc.

- Destilación: optimización del flujo, presión de funcionamiento, asociación de columnas en serie o en paralelo, control de fluídos auxiliares para recuperar energía, etc.

- Evaporación: temperatura de alimentación, presión adecuada, recalentamiento, evaporación de múltiple efecto, evitar exceso de extracción.

- Compresión y optimización de la presión de trabajo, sistema de utilización, eficiencia del sistema de distribución, recuperación óptima del calor de refrigeración, optimización del ciclo de compresión.

En las mejoras para las variables del ciclo de compresión pueden incluirse aspectos como el control del exceso de aire, el cálculo preciso de la relación aire/combustible, la regulación de la presión y la temperatura; y otros aspectos como la regulación de la viscosidad del combustóleo que se utilizan, la de la velocidad del flujo de materia y del recalentamiento del agua.

Régimen de trabajo.

Son actividades que tienen por objeto organizar bien los flujos de materiales, evitar calentamientos y enfriamientos inútiles.

Además, deben optimizar el sistema de carga, programar correctamente la producción para evitar tiempos muertos, dotar de funcionamiento automático a todas las operaciones que sea posible y eliminar la marcha discontinua y los movimientos inútiles de material.

V.2.6. Análisis de las mejoras que requieren una inversión considerable.

En esta sección se tratará de la clasificación de aquellas propuestas de ahorro de energía que requieran una decisión por parte de la dirección de la empresa, así como un análisis económico de las mismas.

Variación de materiales y equipo.

Las variaciones más comunes son el cambio en procesos y equipos, la recuperación de energías residuales, las mejoras que se instrumentan en los sistemas de combustión y en los servicios auxiliares, así como el funcionamiento adecuado del aislamiento térmico mediante reparaciones continuas y el cambio en los sistemas de mando.

Innovaciones tecnológicas.

Hay proyectos para ahorro de energía que consisten en ciertas innovaciones tecnológicas. Descubrir estas posibilidades y proponer realizaciones demostrativas de las mismas, ha de ser una preocupación de la empresa que desee ser eficaz en el ahorro de la energía.

Entre otras pueden citarse las siguientes:

- Aplicación de la bomba de calor para calefacción y producción de agua caliente sanitaria.
- Intercambiador especial para recuperación de calores residuales en hornos de vidrio y plantas de celulosa.
- Utilización combinada de bomba de calor y la energía solar.
- Recuperación de gases de escape de horno eléctrico para autogeneradores de energía eléctrica.

Optimización e integración de procesos.

Como fase más avanzada en el mejor aprovechamiento de energía, cabe considerar un replanteamiento total del diseño de los procesos llegando a una integración de los mismos, para lograr su máxima optimización energética.

Análisis económico de las mejoras propuestas.

Es necesario hacer un análisis económico de cada medida de ahorro propuesta, mediante el cual se pueda aportar a la dirección el mayor número de datos para tomar una decisión.

Las medidas que requieren una inversión considerable, al igual que cualquier otro proyecto, antes de ser tomadas, deberán ser sometidas a un estudio económico de viabilidad, para lo cual debe hacerse un anteproyecto que considere los siguientes aspectos:

+ Definición de objetivos.
+ Presupuesto.
+ Plan de inversiones.
+ Ahorros conseguidos.
+ Amortización.

+ Rentabilidad.
+ Comparación con otras alternativas.
+ Plan de mantenimiento.
+ Tecnología requerida y costo social.

Pero antes de hacer este estudio, largo y costoso para cada mejora, convendrá hacer una primera selección de estas con unas estimaciones aproximadas. Para ello se pueden emplear varios métodos como el período de actualización y el de análisis marginal.

a) Período de amortización bruta.
Se debe disponer de los datos siguientes:

Ce = Costos de establecimiento (inversión inicial más cargos adicionales, tales como pérdidas de producción.
Cf = Costos de funcionamiento anual (mano de obra, entrenamiento, imputables a la economía de energía prevista).
Ec = Economías anuales de combustibles.
Pc = Precio del combustible o de la energía.
De = Duración o vida del equipo.

En esta etapa puede prescindirse de actualizar los costos y de evaluar los precios futuros de la energía.
Economía anual neta:

$$En = EcPc - Cf$$

El período de amortización bruta es:

$$P_{AB} = Ce/En$$

Un posible criterio a adoptar: Es la selección de aquellas mejoras tales que

$$P_{AB} \quad De/2$$

La precisión necesaria sobre los datos en esta fase es del orden de un 25% .

Rendimiento bruto de la inversión.

Durante la vida del equipo, la economía neta total, E_T, será:

$$E_T = E_n x De$$

El rendimiento bruto global de la inversión será:

$$R_{ST} = [\ (E_T - C_e)/C_e\ ]\ X\ 100$$

El rendimiento bruto anual será:

$$R_{BA} = R_{ST}/De$$

Posible criterio a adoptar

$$R_{BA} \quad 20\ \% .$$

El R_{BA} permite una comparación homogénea cuando las inversiones tienen una duración de vida diferente.

Si se acepta hacer una primera selección de posibles medidas de ahorro en función de los criterios anteriores, se puede aplicar a continuación un procedimiento más afinado a aquellas opciones que se hayan revelado como potencialmente más favorables.

El método de actualización está basado en que la inversión a realizar y los ahorros a conseguir no coinciden en el tiempo. Es preciso referir una y otros al mismo punto de partida en el tiempo y de aquí el término de actualización.

Las variables a considerar son:

P_j = Cantidad invertida en el tiempo tj antes de la puesta en marcha de la instalación.
C_{EA} = Costo de establecimiento actualizado al momento de la puesta en marcha.
E_{na} = Valor anterior actualizado al momento de la puesta en marcha.
E_n = Economía neta de energía, obtenida en el transcurso del año n, después de la puesta en marcha.
a = Tasa de actualización.

Costo de establecimiento = CE = jP_j.

Costo de establecimiento actualizado.

$$C_{EA} = P_j(1 + a)t_j$$

Economía neta anual de energía realizada en el año n, actualizada:

$$E_{na} = \frac{E_n}{(1+a)^n}$$

Economía neta total de energía actualizada.

$$E_{TA} = \sum_{n=1}^{n=De} \frac{E_n}{(1+a)^n}$$

Rendimiento neto de inversión.

$$R_N = \frac{E_{TA} - C_{EA}}{C_{EA}}$$

R_N permite hacer una comparación independiente de la duración del equipo.

Rentabilidad neta anual = T_{NA}

Se calcula el valor de a' que hace $R_N = 0$, o sea, $C_{EA} = E_{TA}$ durante el tiempo De.

Se compara a' con el valor a. La diferencia entre a' y a representa la mayor rentabilidad puramente financiera y equivale al beneficio neto anual suplementario que la empresa obtiene de su inversión.

Por lo tanto: $T_{NA} = a' - a$.

Duración neta de la amortización: D_{NA} es el tiempo al cabo del cual el valor C_{EA} habrá sido pagado por las economías netas actualizadas (al valor a), o sea, el valor de n que hace:

$$\sum_{n=1}^{n=D_{NA}} \frac{1}{(1+a)^n} = \frac{C_{EA}}{En}$$

El procedimiento de cálculo puede perfeccionarse tomando en cuenta los efectos de la inflación y la evolución del precio de la energía.

En el Cuadro V.2. se muestra una tabla de actualización y en la figura V.3. una gráfica de amortización de las inversiones.

CUADRO V.2.
TABLA DE ACTUALIZACION.

TASA ACT. %	PERIODO EN AÑOS 2	3	4	5	6	7	10	12	15
5	1.859	2.723	3.546	4.329	5.076	5.786	7.722	8.863	10.380
5.5	1.846	2.698	3.505	4.270	4.996	5.683	7.538	8.619	10.038
6	1.646	2.673	3.465	4.212	4.917	5.582	7.360	8.384	9.712
6.5	1.821	2.648	3.426	4.155	4.841	5.485	7.189	8.159	9.403
7	1.808	2.624	3.387	4.100	4.750	5.389	7.024	7.943	9.108
7.5	1.796	2.601	3.349	4.046	4.694	5.291	6.864	7.735	8.827
8	1.783	2.577	3.312	3.993	4.623	5.206	6.710	7.536	8.559
8.5	1.771	2.554	3.276	3.941	4.554	5.119	6.561	7.345	8.304
9	1.759	2.531	3.240	3.890	4.486	5.033	6.418	7.161	8.061
9.5	1.747	2.509	3.204	3.840	4.420	4.950	6.279	6.984	8.828
10	1.736	2.487	3.170	3.791	4.355	4.868	6.145	6.814	7.606

FUENTE: Técnicas de Conservación Energética en la Industria.

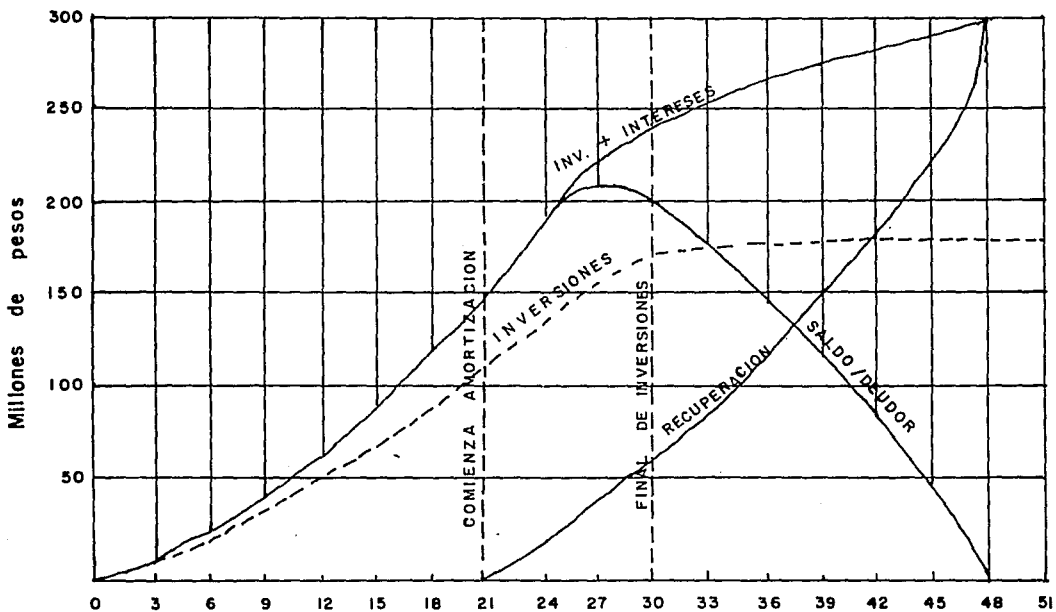


FIG. V. 3 AMORTIZACION DE INVERSIONES

b) Análisis marginal.

Unicamente se desea reseñar, de manera especial para las inversiones grandes, que conviene estudiar varias versiones del mismo proyecto, realizando la optimización por medio de un análisis marginal de las diferentes posibilidades.

El concepto fundamental es el siguiente: Se podrán realizar todas aquellas inversiones que ahorran un incremento de energía delta E = E(n+1) - E(n) cuyo costo de inversión delta C sea inferior al incremento de ahorro A, actualizado.

Esta curva es una traducción de la clásica curva ABC, considerada habitualmente en los textos de economía.

Con el objeto de facilitar la decisión, pueden clasificarse las medidas por rentabilidad: bien sea por el período de amortización bruto, por la tasa neta de recuperación, la duración neta de la amortización, o el rendimiento neto de amortización, etc.

CAPITULO VI

Ningún hombre es feliz a
menos de que crea que lo es

PUBIBLIUS SYRUS, 50 a.c.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.

Un gran porcentaje de la energía que se consume en el mundo actualmente procede de recursos energéticos no renovables, principalmente de los hidrocarburos (petróleo y gas) y del carbón y en menor cantidad del uranio.

Salta a la vista que estos recursos tendrán que agotarse necesariamente algún día. Pero no se crea que ese día está muy lejano, los pronósticos según los expertos en la materia oscilan entre 25 y 40 años para los hidrocarburos y un poco más allá de ese tiempo para el carbón.

La conclusión que se desprende de tal situación es que se debe utilizar la energía de la manera más eficiente e implantar programas rigurosos de ahorro de la misma, sobre todo en aquellos sectores que la consumen de manera intensiva, como es el industrial.

A nivel internacional se han realizado serios esfuerzos en el ahorro de energía, principalmente en los países altamante industrializados y a partir de las crísis del petróleo de 1973 y de 1979.

Esos países avanzaron en la instrumentación de programas ambiciosos de ahorro y uso eficiente de la energía, y en la diversificación de fuentes de energía, a través de la investigación científica que permitió utilizar nuevas tecnologías para emplear eficientemente la energía procedente de las fuentes alternas, tales como la energía solar, la eólica, la procedente de la biomasa y la geotérmica, entre otras. Estas nuevas fuentes tienen la característica de ser recursos practicamente renovables.

Nuestro país, sumido en una fuerte crísis económica de la cual todavía no acaba de salir, carece de los recursos financieros necesarios para realizar investigación sobre nuevas fuentes de energía, por lo cual la ha suspendido casi en su totalidad; por otro lado, ha descuidado peligrosamente las inversiones en explotación y exploración de hidrocarburos, al grado de que en 1981 se invirtieron 5,500 millones de doláres para las mismas y en 1988 apenas 820 millones de doláres.

Todo esto ha orillado al gobierno actual a tratar de poner en marcha un programa de uso eficiente y ahorro de energía, en todos los sectores, incluído el propio sector energético, pero fundamentalmente encaminado a aplicarse en el sector industrial, y más específicamente a las industrias con alto consumo de energía, entre esas industrias las más importantes por su consumo son la siderúrgica, la del cemento, la química, la petróquimica, la industria de la celulosa y el papel, la del vidrio, la de producción de algunos metales como cobre y aluminio, etc.

Este trabajo se enfocó a la Industria de la Celulosa y del Papel (ICP), por ser una de las mayores consumidoras de energía, y por reunir algunas características que la hacían más interesante de estudiar, ya que es una rama industrial que ha sido poco estudiada desde la perspectiva del ahorro de energía, además de que emplea materias primas constituídas por recursos renovables, y que algunos de ellos pueden ser subproductos de otras industrias, como sucede con el bagazo de caña, que se utiliza cada vez más en la producción de papel en nuestro país.

De acuerdo con el estudio que se desarrolló en este trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

1o. Para poder implantar un programa serio y amplio de uso eficiente y ahorro de la energía en las industrias de la ICP, es necesario lograr antes, que las plantas donde se vaya a ejecutar, pongan en marcha la administración energética formal, a través de la creación de un organismo ad hoc, que cuente con el apoyo decidido de la dirección de la empresa y que esté integrado por personal calificado en el área, de ser posible que sea personal que trabaje ya en la misma empresa.

Nuestro país no tiene ni siquiera una estadística confiable de cuáles y cuántas empresas llevan a cabo la administración formal de energía, y cuales cuentan con un departamento u organismo interno encargado específica y exclusivamente de realizar la administración energética.

Sin embargo, se puede decir que la mayoría de las industrias nacionales, incluídas aquéllas que tienen un consumo intensivo de energéticos, no cuentan con la administración formal de la energía, ni menos con un organismo interior encargado de hacerla.

Por lo tanto, para que el programa de uso eficiente y ahorro de energía que contempla poner en marcha el gobierno federal, según se desprende del Programa Nacional para la Modernización Energética (PNME), se lleve verdaderamente a la práctica y rinda resultados positivos, es urgente que las industrias empiecen de inmediato a crear sus organismos internos para la administración formal del uso de energia y a realizar tal administración de manera eficaz.

2o. Una parte fundamental de toda buena administración de energía es la realización periódica de diagnósticos energéticos o de auditorías energéticas como se les conoce comunmente.

Sin los datos que arroja un estudio de esta naturaleza, el gerente general de la planta y más específicamente el responsable del organismo de administración de energía, no podrá diseñar ni poner en práctica una política eficaz, ni un programa de uso y ahorro eficiente de energía.

Por lo tanto, todas las empresas de alto consumo de energía deberían realizar auditorías panorámicas por lo menos cada mes, y auditorías cortas o a nivel intermedio de profundidad, cada año, y finalmente realizar auditorías completas o al máximo nivel de profundidad cada 3 ó 5 años, según el tamaño de la planta y la magnitud de la energía que en ella se involucre.

3º. La industria de la celulosa y el papel, padece los mismos problemas ya descritos en los puntos anteriores, pero además tiene otro propio, pues presenta una dependencia creciente de la importación de celulosa lo cual no es conveniente, desde el punto de vista energético, porque se tiene que gastar más energía, para repulpar la celulosa importada, antes de iniciar el proceso propiamente dicho de fabricación de papel.

Esta etapa así como la energía involucrada podría ahorrarse si las plantas fueran integradas, es decir, con producción simultánea de celulosa y papel. En México, según datos de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (CNICP) de 1989, había un total de 71 empresas del ramo, de las cuales 8 producían exclusivamente celulosa, 53 fabricaban únicamente papel y solamente había 10 que producían tanto celulosa como papel, es decir, eran industrias integradas; pero éstas representan un porcentaje del 14.08%, que respecto al total es muy bajo. Lo ideal sería tener la totalidad de industrías integradas pues esto mejoraría considerablemente el consumo específico por producto terminado.

Para mejorar a nivel nacional la eficiencia energética de la ICP es necesario incrementar el número de plantas integradas, en la mayor proporción posible. También es necesario reducir al mínimo la importación de celulosa, pues ocasiona el mismo problema de dispendio de energía, aparte de las implicaciones económicas y políticas que conlleva.

4º. La eficiencia energética nacional, que se puede examinar mediante la elasticidad del consumo de energía por unidad de producto nacional bruto, fue de 1.5 en los últimos años de los 80, mientras que en los países altamente industrializados éste valor fue de 0.5 en el mismo período, lo que refleja los altos niveles de consumo de energía por la ICP en México.

Esto evidencia que en México se gasta casi 3 veces más energía para elaborar la misma cantidad de producto interno bruto (PIB), que en países altamente industrializados, lo que significa que el uso de la energía en las industrias nacionales es generalmente ineficiente.

Esto se debe comunmente a una mala o nula administración formal de la energía en la mayoría de las plantas industriales y al uso de tecnologías ya obsoletas y muy ineficientes en el uso de la energía, o que requieren de por sí un alto consumo de la

misma, para llevar a cabo procesos que con las tecnologías actuales consumen mucho menos energía.

Esta situación no es la excepción en la ICP, pues mientras que Japón con un grado de independencia en el suministro de celulosa de 80.7% tenía en 1988 (Ref.6) un consumo específico de 0.38 TEP/ton de papel, México, con un grado de independencia en el suministro de celulosa similar, (83%), tenía un consumo específico promedio de 0.45 TEP/ton de papel, es decir, aproximadamente 20% más alto que el de Japón.

La comparación con países más efecientes como Canadá, con un grado de independencia en el suministro de celulosa de 152.3%, y un consumo específico de 0.58 TEP/ton de papel. Haciendo una extrapolación para el caso de México, si tuviera el mismo grado de independencia en el suministro de celulosa, gastaría un 42.36% de energía más que Canadá, para alcanzar la misma producción de celulosa y papel que ese país.

La ICP en México guarda mucha semejanza con la industria azucarera, pues en ella al lado de ingenios que son la última palabra en equipo y tecnología, subsisten otros que son obsoletos y datan de finales del siglo pasado o principios de éste; así sucede con la ICP.

En nuestro país existe una gran variedad de consumos específicos de energía, la cual está en función de los tipos de productos que se elaboran, ya sea celulosa o papel, de la capacidad de aprovechamiento de la capacidad instalada de las plantas, de su tamaño, y hasta de las materias primas que emplean para la elaboración de celulosa y/o papel.

Por ejemplo el consumo mínimo de energía para elaboar papel bond es de 1.501 GCAL/ton, mientras que para el papel periódico es de 3.045 GCAL/ton, para el semikraft de 3.609 GCAL/ton, para el bristol de 0.847 GCAL/ton y para el cartón de 0.121 GCAL/ton.

En general el consumo específico de energía es mayor para papeles más elaborados, aunque a veces esto no se cumple debido a la tecnología que emplean diferentes plantas para elaborar un mismo tipo de papel.

Por ejemplo una planta que produce papel de empaque tuvo un consumo específico de 3.4 BCE/ton de papel, en cambio para el papel de escritura e impresión se tuvo un consumo de 4.2 BCE/ton de papel.

El papel higiénico y facial tienen comunmente consumos específicos de energía más altos que otros papeles, así una planta que produce unicamente este tipo de papel tuvo un consumo de 5.1 BCE/ton de papel.

Pero estos consumos por tipo de papel no son los mismos en todas las plantas, sino que varían ampliamente según la tecnología y la obsolescencia del equipo de cada planta. Por ejemplo, en el estudio realizado por el IMP y PEMEX en 26 plantas de la ICP, los consumos específicos de energía para elaborar papel de empaque, oscilan desde 2.1 BCE/ton de papel que fue el mínimo, hasta 3.4 BCE/ton de papel que fue el máximo consumo. Y así ocurre con los otros tipos de papel o de celulosa.

Esto da idea de la gran disparidad de equipo, maquinaria, procesos y tecnología que coexisten en la ICP en nuestro país. Por eso es imprescindible desechar los equipos, maquinaria y tecnologías obsoletas y cambiarlos cuanto antes por los más modernos y adelantados.

Por lo tanto, es urgente actualizar el equipo de la mayoría de las industrias del sector, y emplear la tecnología más avanzada que utiliza procesos que consumen menos energía por unidad de producto que fabrican, y que permita hacer ahorros de energía considerables.

5º. Dentro de las medidas más eficaces para obtener mejoras sustanciales en los gastos económicos de las empresas respecto al consumo específico de energía, se encuentra la cogeneración de electricidad. Esto se hace con base en la producción de ciertos excedentes de vapor de alta presión, el cual se utiliza para generar electricidad y una vez que sale de las turbinas se utiliza en el proceso.

Es obvio que para producir vapor en esas condiciones es necesario comprar combustibles al exterior, lo cual implica una erogación económica por parte de la empresa en cuestión, pero tal erogación se compensa al generar la mayor parte de la electricidad que consume la planta, o inclusive en algunos casos tener excedentes que pueden venderse a la Comisión Federal de Electricidad.

En este sentido existe un gran potencial en la ICP en México, pues apenas cuenta con unos cuantos megavatios de cogeneración, cuando el potencial se cálcula en alrededor de 10 miilones de MWH de electricidad, que si se generara satisfaría todas las necesidades de vapor de la industria.

En la ICP la capacidad instalada de cogeración es de 100 MW, pero se cálcula que podría aumentar a un ritmo del 8% anual, para alcanzar el potencial total de cogeneración que se estima es de aproximadamente 440 MW adicionales a los ya instalados.

Es decir, que aún hay mucho por avanzar en la generación de electricidad y producción de vapor de proceso por las propias industrias del ramo, y conviene que así se haga cuanto antes.

6º. Del análisis de los balances energéticos finales de 26 empresas de la ICP, de un estudio realizado por el IMP y PEMEX, se observa que el consumo total específico de energía tiene que ver fundamentalmente con tres factores principales: el tipo o tipos de papel que se elaboran en una planta, la capacidad intalada de la misma, y el porcentaje de aprovechamiento de dicha capacidad.

Se concluye que a mayor capacidad o tamaño de la planta y mayor porcentaje de utilización de dicha capacidad, menor es el consumo energético específico y viceversa. Por lo que respecta al tipo de papel que se elabora, los papeles con mejor acabado, es decir más blancos, más tersos y brillantes, o de mayor resistencia; así como todos aquéllos destinados a usos sanitarios y faciales tienen un mayor consumo específico de energía, que aquellos otros que requieren de acabados menos finos, como el papel de envoltura, el papel periódico, o el papel de embalaje. En cuanto a la fabricación de celulosa en términos generales consume más energía la celulosa de bagazo de caña que la de madera, y las celulosas semiblanqueadas, que las celulosas sin blanquear.

La conclusión es que las plantas deberán realizar los cambios necesarios para equilibrar el tipo de productos terminados que fabrican, y en todos los casos procurar tener un alto aprovechamiento de la capacidad instalada y una planta de tamaño grande para que los costos relativos de operación y producción bajen.

7º. Los beneficios de una auditoría energética a nivel intermedio o inclusive al máximo nivel de profundidad son tales, que si la mayoría de los industriales de la ICP estuvieran convencidos de ello, practicarían constantemente este tipo de análisis energético a sus plantas. Sin embargo, todavía impera la desconfianza, el desconocimiento y en último de los casos la indiferencia hacia la importancia de la administración de energía y la práctica de las auditorías energética.

Por tanto es necesario crear conciencia en los dirigentes del sector y llevar a cabo acciones concertadas entre el gobierno, los industriales y las instituciones de educación superior que tengan los conocimientos suficientes en el tema para asesorar a la industria. Pero en esencia las autoridades del país no deben dejar esta cuestión al arbitrio de la buena o mala voluntad de los industriales sino hacerla de alguna manera obligatoria.

De otra forma las metas de ahorro de energía propuestas por el gobierno para lograrse en este sexenio, no pasarán de ser un catálogo más de buenos deseos.

8º. Dado que la inmensa mayoría de las industrias en México, incluidas por supuesto las de la ICP no tienen una política de administración formal de la energía, pues no cuentan con organismos internos dedicados específica y exclusivamente a esa tarea. Es necesario que a la brevedad posible establezcan ese tipo de organismos, que en algunos países se conocen como comités de administración de energía, pero que inclusive, según el tamaño de la planta industrial en cuestión, sería conveniente elevarlos a la categoría de departamentos con la misma jeraquía, autoridad y apoyo de otros departamentos de una gran empresa o de una planta industrial.

9º. Finalmente, se sabe que en el país hay muy pocas instituciones de Educación Superior, la UNAM, la UAM, y el IPN entre otras, que cuentan con instalaciones y personal dedicado a la investigación sobre el manejo y generación de energía para hacerlo más eficiente y para instrumentar programas de ahorro de energía en las industrias.

Sería muy conveniente que el sector oficial se preocupara más por inducir el establecimiento de este tipo de investigación en las universidades, institutos tecnológicos e instituciones de investigación y los dotara de recursos suficientes, para que en un lapso breve, México cuente con personal calificado en cuestiones energéticas, concretamente en administración, ahorro y uso eficiente de energía, para atender los rezagos y las necesidades futuras del país en ese renglón.

10o. El potencial de ahorro total en la ICP en México es bastante, sólo en el área de electricidad se podría producir toda la electricidad que consume la ICP actualmente que sería del orden de 270,209,790 HWH/año, suponiendo que actualmente se genere ya el 40 del total de la energía eléctrica consumida por la ICP, que en 1989 según datos del Balace Nacional de energía fue de 1.288 billones de KCAL. Para cogenerar la electricidad que hace falta habría que instalar alrededor de 200 MW para cogeneración en la ICP.

Por lo que se refiere al vapor, si se aplican todas las medidas recomendadas en este trabajo, podría ahorrarse hasta un 30% del consumo total en el proceso global de elaboración de celulosa y papel, sin hacer ningún cambio en el proceso.

Ahora bien si se sigue la tendencia de elaborar celulosa de bagazo de caña en lugar de celulosa de madera, se podria ahorrar del 15 al 20% de la energía total consumida en la elaboración de celulosa, que ahora se hace mayoritariamente de madera, claro que esto sería posible sólo si se utiliza la tecnología más avanzada.

11o. Por otra parte, también es necesario actualizar el equipo y la maquinaria de la mayoría de las plantas de la ICP, con miras a poder ahorrar energía. La mayoría de los equipos y

maquinaria en la ICP bordean un promedio de 50 años de antigüedad, otros 25 años y sólo un pequeño número tiene entre 10 y 5 años de adquirido o menos. Es obvio que con ese grado de obsolescencia la ICP mexicana tenga consumos específicos en la elaboración tanto de celulosa como de papel, que llegan a ser mayores hasta en un 300 % o más con respecto a los valores internacionales más eficientes.

Por lo tanto el ahorro de energía en la industria papelera mexicana está intimamente relacionado con los programas de modernización y reconversión industrial auspiciados por el gobierno, es decir, con las posibilidades de una mayor integración de su estructura productiva, de tener autosuficiencia en materias primas, de poder diversificar su producción de papel, y de un sensible mejoramiento de su productividad y eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Memoria de Labores 1990.
Petróleos Mexicanos.
México, D.F.

[2] Programa Nacional de Modernización Energética (PNME) 1990-94
SEMIP. Diario Oficial del 7 de mayo de 1990.

[3] Balances Nacionales de Energía, de 1985 a 1989, SEMIP.

[4] Memoria Estadística de la CNICP, 1989.

[5] Balance Nacional de Energía de 1989, SEMIP.

[6] Consumo de Energía en la industria.
Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP)
México, D. F. Junio de 1988.

[7] "Perfiles Energéticos No.3: consumo de energía en la industria de celulosa y del papel".
Subgerencia de la economía de la energía. PEMEX.
México, D.F. Mayo de 1987.

[8] Calking and John Burgess.
Modern Pulp and Paper Making.

[9] Lieberman, J. Ben.
Papermaking and Manufacture or paper products,
June, 1958.
International corporation Administration.

[10] Newton, G.E.H.
"Fuel and productivity in the pulp and paper industry",
Paper II, Fuel and productivity conferences.
London 1963.

[11] Balances Nacionales de Energía 1988 y 1989. SEMIP.

[12] "Guía para el ahorro de energía en la industria".
David A. Reay.
International Research and Development Co. Ltd.
Newcastle-upon-Tyne, England.
Pergamon Press.

[13] "The energy Manager's Handbook".
Payne, A. Gordon.
IPC Science and Technology Press.
Reprinted 1978 (firth ed. 1977).

[14] "Elements of a Plant Energy Audit".
Walter P. Smith, Jr.
Energy and Environmental management
Badische Corp. Anderson, SC.

[15] "Técnicas de Conservación Energética en la Industria".
Tomo II, ahorro en procesos.
Ministerio de Industria y Energía
Madrid, Mayo de 1982.

[16] "Optimización del uso de la energía en la Industria de Procesos".
Ortíz Parga, Esteban Augusto
Tésis de la Escuela de Ingeniería de la Universidad La Salle. México, D. F. 1987.

[17] "Programa de ahorro de energéticos en el sector eléctrico, CFE" (PAESE).
México, D,F. Julio de 1990.
Comisión Federal de Electricidad y SEMIP.

[18] "Vapor de procesos".
Eduardo Olmedo B.
IMIT-ATCP
13 de julio de 1989.

[19] "Método para ahorro de energía de vapor".
Javier Magdaleno Soto.
Maya Química, S.A. de C.V.
México, D. F., 1987.

[20] "Reducción del costo de energía eléctrica".
Ing. Gabriel Enrique Méndez Assi.
Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. 1986.

[21] "Análisis Técnico Económico de los principios básicos para la estructuración de tarifas eléctricas del país".
Luis Rolando Figueroa Noriega
Comisión Federal de Electricidad,
México, D. F., 1973.

[22] "Manuales Técnicos y de Instrucción para la Conservación de Energía". (Redes de distribución de fluidos térmicos)
Ministerio de industria y Energía
Madrid España, 1984.

[23] "Fundamentos para la optimización de la combustión en calderas".
Jorge Izaguirre Montiel
Impulsora Electrotérmica, S.A.
México, D. F., 1987.

[24] S. David Hu.
"Cogeneration".
Reston Publiblishing Company, Inc.
Reston,
Virginia, 1982.

[25] "Cogeneración en la Industria Química y Papelera".
Volker Hahn, Kraftanlagen
Heidelberg, Alemania.
Memoria del IX Seminario sobre uso racional de energía y exposición de equipos, 1990. ATPAE.

[26] "Administración de la Energía".
(Curso de actualización)
H. Romero, E. González y J. J. Ambríz.
UNAM y UAM-I.
México, D. F., abril de 1989.

[27] José Guadalupe Alfonso Ramos Anastacio.
"Metodología para el Diagnóstico Energético en una planta productora de Cemento".
Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Energética. DEPFI-UNAM, Ciudad Universitaria,
México, D.F. octubre de 1988.

[28] Memorias de la CNICP 1978-1985.

[29] WITHMAN, G.S. SR.
"Modern Pulp and paper making".
Seconde Ed. Reinhold Publishing Corporation.
New York, 1942.

[30] "Handbook of Pulp and paper Technology"
Edit. K.W. Britt.
Second Ed.1970.

[31] C. F, Libby.
"Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel".
Ed. CECSA
México, D. F.

[32] "Energy audits Manual".
Jack Dale and Associates.
Gobernment Intitutes Inc.
U.S.A. 1984.

[33] Meyers,P.G.
"The potencial for energy conservation in the pulp and paper industry".
Paper Trade Journal,
pp 68-71, 24 Feb. 1975.

ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

AIE = Agencia internacional de energía.
C.E.E. = Consumo específico de energía.
CAE = Comité de Administración de Energía.
CLFC = Compañia de Luz y Fuerza del Centro.
CFE = Comisión Federal de Electricidad.
CNICP = Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel.
CONAE = Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
G.I.S.C. = Grado de independencia en el suministro de celulosa.
ICP = Industria(s) de la celulosa y el papel.
IEE = Instituto de Investigaciones Eléctricas.
IMP = Instituto Mexicano del Petróleo.
OCDE = Organización para la cooperación y el desarrollo económico.
OPEP = Organización de países productores y exportadores de petróleo.
PAESE = Programa de ahorro de energía del sector eléctrico.
PEMEX = Petróleos Mexicanos.
PNME = Programa Nacional de Modernización Energética.
SECOFI = Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
SEMIP =Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

UNIDADES

BCE = Barriles de combustóleo equivalente.
BD = Barriles diarios.
BTU = British Thermal Unit (Unidad térmica británica).
Cal = Caloría.
ECUS = Unidad monetaria de la comunidad económica europea.
GCAL = Gigacaloría.
GW = Gigawatt o gigavatio.
GWH = Gigawatt-hora.
Kcal = Kilocalorías.
KJ = Kilojoules.
KW = Kilowatt o kilovatio.
KWH = Kilowatt-hora o kilovatio-hora.
MBD = Miles de barriles diarios.
MJ = Megajoules.
MMBD = Millones de barriles diarios.
MW = Megawatt o Megavatio.
TEP = Toneladas de petróleo equivalente.
Ton = Toneladas.
Ton/d = Toneladas por día.
Ton/h = Toneladas por hora.