

29  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA**

**"METODOLOGIA DE UN BALANCE DE ENERGIA  
A UN INGENIO AZUCARERO"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**RICARDO GARCIA CRUZ**

**MEXICO, D. F.**

**1989**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## INDICE

	PAG
INTRODUCCION	1
CAPITULO I " PANORAMA GENERAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA".	5
CAPITULO II " DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES DEL INGENIO".	15
CAPITULO III " CARACTERISTICAS DE LA INFORMACION"	57
CAPITULO IV " METODOLOGIA DE CALCULO"	84
CAPITULO V " EJEMPLO DE APLICACION"	99
CONCLUSIONES	112
ANEXO I	114
ANEXO II	121
BIBLIOGRAFIA	122

## INTRODUCCION

La finalidad del presente trabajo es el de mostrar una metodología de cálculo para la elaboración de un balance energético en la Industria Azucarera, la cual presenta muchas ventajas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Se pueden detectar las áreas que contribuyen con un alto porcentaje al consumo total de energía en el ingenio, ya que se determina el consumo de energía en cada una de estas áreas.

- Se pueden fijar potenciales de ahorro energético para esta industria en particular.

- Facilita el análisis de consumos energéticos reales y de diseño de los equipos y/o maquinaria involucrados en una unidad productiva.

Se pretende que esta metodología sea una herramienta útil y que pueda ayudar de alguna manera a la Industria Azucarera Nacional en la determinación de sus consumos energéticos, y que mediante esta se apliquen las medidas correspondientes que se tendrán que tomar para tener una disminución del consumo de energía para su propio beneficio y del país en general.

Por otro lado, con la aplicación de esta metodología se pueden alcanzar otros objetivos que se mencionan a continuación:

- Conocer los requerimientos energéticos para la producción nacional.

- Se pueden obtener aquellos indicadores de consumo y uso de la energía en la industria, para la comprensión detallada de la forma en que ésta utiliza los energéticos.

- Se puede prever la estructura y el comportamiento futuro del mercado interno de los combustibles elaborados por Pemex.

- Plantear políticas y estrategias para el uso eficiente y racional de la energía en la Industria Azucarera.

- Identificar los sectores, tecnologías y productos que requieren de más recursos energéticos o los que demandan de manera más intensa, con el fin de coadyuvar a establecer sus planes de desarrollo y necesidades futuras en concordancia con los objetivos nacionales.

Para desarrollar la Metodología y cumplir con los objetivos planteados se ha estructurado este trabajo iniciando con el primer capítulo: "Panorama General de la Industria Azucarera", en el que se destacan los principales aspectos económicos de ésta Industria, tales como: La producción nacional de azúcar y su comparación con respecto a otros países, la demanda interna de azúcar y los principales sectores consumidores, la evolución de las exportaciones e

importaciones de azúcar en México, todo esto para establecer la importancia de esta actividad en nuestro País.

En el segundo capítulo se describen las operaciones del Ingenio, equipos involucrados y variables que afectan al Proceso, con la finalidad de poder identificar las distintas actividades que integran el Proceso de producción de Azúcar y luego, localizar las áreas y equipos más intensivos en consumo energético y aplicar el método que permita realizar un balance de energía en cualquier Ingenio.

Por otro lado, el objetivo del tercer capítulo es definir con la mayor claridad posible el concepto de Unidad Productiva, elemento esencial para realizar el balance. Con este fin se inicia el capítulo con una descripción del significado de Unidad Productiva, citando diferentes procesos industriales a manera de ejemplo. Posteriormente se generaliza el concepto para cualquier Industria y por último se presenta el diagrama para la producción de azúcar estándar bajo el concepto de Unidad Productiva, dicho diagrama servirá como base para la aplicación de esta metodología. En este mismo capítulo se presentan los formatos que se utilizan para obtener la información que posteriormente se requerirá para aplicar el método descrito.

En el penúltimo capítulo (IV), se presenta la metodología general de cálculo sin valores numéricos. Al final del capítulo se mencionan algunos indicadores que pueden extraerse de este balance, tales como: consumo potencial de energía, consumo total de energía, tipos y destino de la energía consumida, entre otros.

Por último en el capítulo V se presenta un ejemplo de aplicación a un Ingenio Azucarero, en el cual se observa la aplicación de la metodología mostrada en el capítulo IV. Cabe aclarar que las referencias bibliográficas si bien no están explícitas en el trabajo, si sirvieron de marco conceptual para la elaboración del mismo, ya que éste se realizó básicamente mediante trabajo de campo con la información proporcionada por un Ingenio Azucarero.

## CAPITULO I

### PANORAMA GENERAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

#### OFERTA

Durante 1983 México ocupó el octavo lugar como país productor de azúcar a nivel mundial y el cuarto dentro del continente americano después de Brasil, Cuba y Estados Unidos (cuadro 1.1).<sup>1,2</sup>

A pesar de ello, el elevado consumo per cápita (entre los 10 más altos del mundo) trajo como consecuencia que durante el periodo 1970-1979, casi la totalidad de la producción se destinara al consumo interno, y que a partir de 1980 tuvieran que importarse volúmenes equivalentes al 20% de las necesidades internas del País.<sup>1,2</sup>

Durante el periodo 1970-1985 la producción nacional de azúcar se elevó a un ritmo promedio del 2.06 % anual, registrándose fuertes disminuciones en 1970, 1975 y 1980 (cuadro 1.2).

Cada uno de estos años marca el inicio de un ciclo tanto agrícola como político, que conjuntamente han determinado la evolución de la Industria Azucarera.

CUADRO 1.1  
 PRODUCCION DE AZUCAR POR PAISES SELECCIONADOS  
 1972 - 1986

(MILES DE TONELADAS)

AÑO	BRASIL	URSS	INDIA	CUBA	E. U. A.	CHINA	AUSTRALIA	MEXICO	FILIPINAS
1972	6,151	9,674	3,707	4,688	4,441	3,150	2,869	2,587	2,099
1973	6,937	9,600	3,988	5,382	4,473	3,300	2,583	2,810	2,093
1974	6,931	8,526	4,489	5,926	4,190	3,900	2,938	2,838	2,656
1975	6,298	8,200	5,048	6,427	5,955	4,000	2,930	2,636	2,672
1976	7,236	8,500	5,033	6,151	6,439	4,000	3,395	2,710	2,984
1977	8,759	8,885	5,019	6,953	5,764	1,950	3,452	2,790	2,624
1978	7,913	9,353	7,103	7,662	5,133	2,250	2,978	3,131	2,273
1979	7,362	7,927	6,080	7,800	5,435	2,750	2,961	3,095	2,390
1980	8,270	7,174	4,528	6,085	5,313	2,800	3,415	2,719	2,332
1981	8,726	6,413	5,991	7,926	5,789	3,450	3,509	2,642	2,376
1982	8,941	7,931	9,126	8,039	5,418	3,700	3,652	2,739	2,709
1983	9,555	8,750	8,452	7,460	5,215	4,100	3,256	3,076	2,112
1984	9,517	8,456	8,250	7,783	5,341	3,312	3,582	3,308	2,441
1985	9,787	8,800	8,640	8,430	5,721	3,317	3,647	3,691	2,441
1986	10,058	7,769	9,030	8,664	5,782	3,322	3,712	3,277	2,440
t. m. c. a.	4.1	-0.9	7.8	4.3	1.5	2.4	1.2	1.6	0.1

Fuente: Sugar Year Book 1983.

Nota: Los datos de 1984 a 1986 son estimados con base en el comportamiento histórico.

CUADRO 1.2

PRODUCCION NACIONAL DE AZUCAR

1970 - 1985

(MILES DE TONELADAS)

ANO	PRODUCCION	VARIACION PORCENTUAL
1970	2,208	- 7.8
1971	2,393	8.4
1972	2,359	- 1.4
1973	2,592	9.9
1974	2,649	2.2
1975	2,584	- 3.8
1976	2,547	0.0
1977	2,541	- 0.2
1978	2,849	12.1
1979	2,881	1.1
1980	2,603	- 9.6
1981	2,367	- 9.1
1982	2,677	13.1
1983	2,893	8.1
1984	2,913	0.69
1985	3,000	2.98
t.m.c.a.	2.06	

De los ciclos agrícolas destacan cuatro factores determinantes:

a) El agotamiento de la tierra, el cual se manifiesta a través de la superficie destinada a reposición. En este sentido se observa que a lo largo de los ciclos agrícolas, dicho agotamiento tiende a aumentar cada cuatro años para disminuir notoriamente al inicio de cada ciclo.

b) La caña quedada en pie, debido a que en el campo no se alcanza a cortar toda la caña, además de que los ingenios no pueden procesarla en el tiempo adecuado.

c) La caña destinada para semilla. El esquema cíclico aquí planteado se rompe en el año de 1981, sin embargo, ésta disminución de la producción se debió primordialmente a la sequía que afectó la zona de las Huastecas desde 1979, así como la proliferación de plagas y enfermedades, a las intensas lluvias que se desataron durante el mes de enero y que afectaron drásticamente las tareas de la zafra y a la aguda insuficiencia del equipo de corte, alza y acarreo de la caña. (figura 1.1).

d) Puede observarse por otra parte, que los rendimientos de campo (tonelada de caña molida/hectárea cultivada) han tendido a aumentar durante el periodo en cuestión (cuadro 1.3), pasando de 59.3 en 1970 a 74.3 en 1986 (figura 1.2).

Si bien el incremento no ha sido sustancial, su importancia se incrementa si se considera que la superficie destinada al cultivo de caña se elevó considerablemente a partir de 1981 (figura 1.3).

Lo anterior refleja que el incremento en la producción azucarera se ha basado en una mejora en la actividad cañera y no en la producción azucarera (figuras 1.1 y 1.3).

Por su parte los rendimientos de fábrica (toneladas de azúcar/toneladas de caña) se mantuvieron casi estáticos durante el periodo 1970-1983 (cuadro 1.3), registrándose el mayor rendimiento en 1976 (figura 1.4).

# PRODUCCION DE AZUCAR

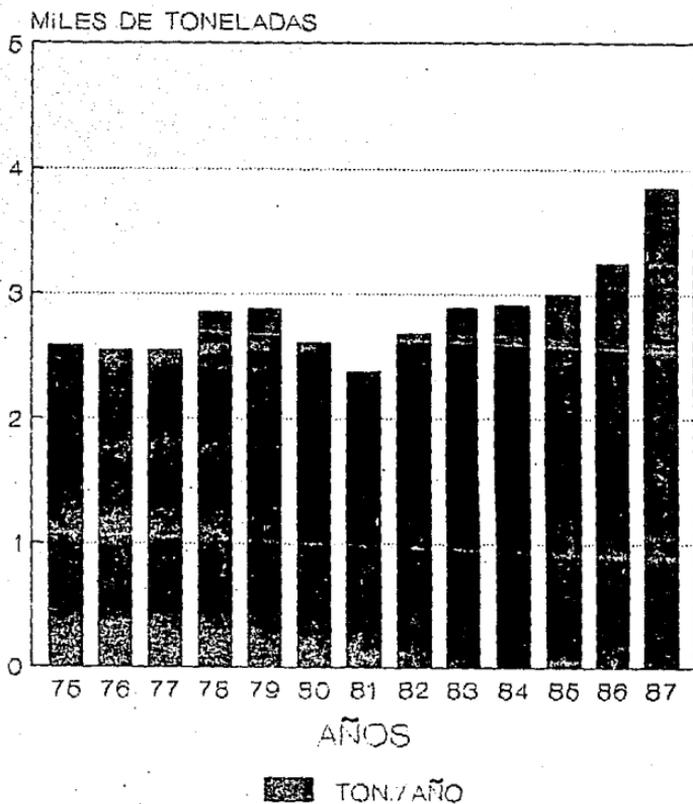


FIGURA 1.1

CUADRO 1.3  
 RENDIMIENTO EN LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA.  
 1970-1985

AÑO	AGRICOLA		INDUSTRIAL		
	SUPERFICIE CULTIVADA (HECTAREAS)	RENDIMIENTO DE CAMPO (%)	CANA HOLIDA (TON)	PRODUCCION DE AZUCAR (TON)	RENDIMIENTO DE FABRICA (%)
1970	413,629	59.3	24,524,437	2,207,984	9.0
1971	427,406	60.8	25,985,193	2,292,850	9.2
1972	426,852	61.5	26,254,352	2,359,428	9.0
1973	452,746	65.9	29,849,272	2,592,277	8.7
1974	456,412	66.8	30,492,129	2,649,182	8.7
1975	460,407	62.9	28,949,147	2,584,297	8.8
1976	446,163	61.0	27,236,961	2,546,596	9.3
1977	431,287	64.8	27,947,358	2,541,065	9.1
1978	461,099	70.2	32,247,669	2,849,361	8.8
1979	474,239	71.4	33,865,116	2,880,566	8.5
1980	488,734	64.1	31,342,989	2,603,153	8.3
1981	452,899	63.3	28,677,093	2,366,973	8.3
1982	469,175	67.7	31,769,195	2,676,681	8.4
1983	490,372	64.7	32,488,916	2,894,572	8.9
1984	510,568	70.3	34,746,307	3,045,675	8.7
1985	534,034	68.9	35,689,271	3,227,858	9.0
1986	557,676	74.3	40,375,130	3,690,780	9.2

Fuente: Elaborado con base en datos de C.N.I.A. "Estadísticas azucareras", varios años.

# RENDIMIENTO DE CAMPO. (PORCENTAJE)

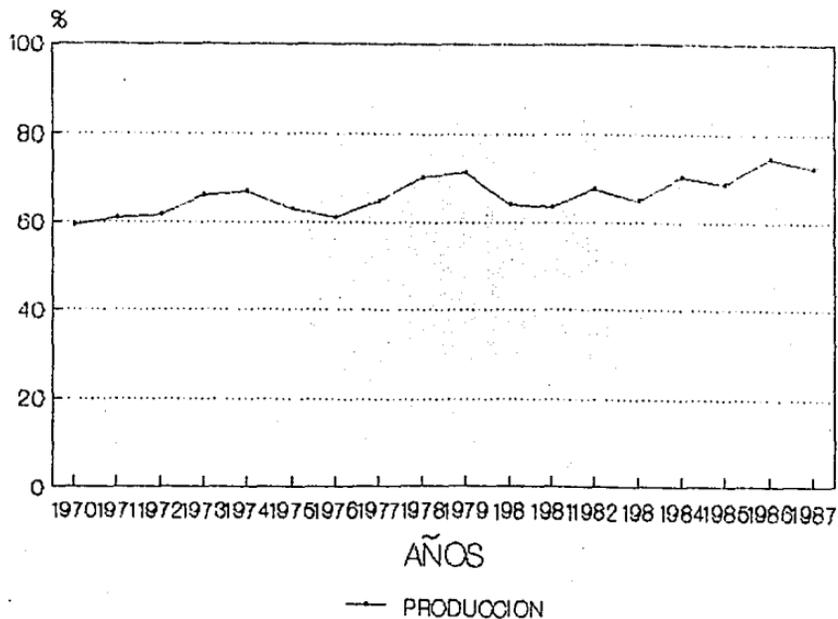


FIGURA 1.2

# RENDIMIENTO DE CAMPO. (PORCENTAJE)

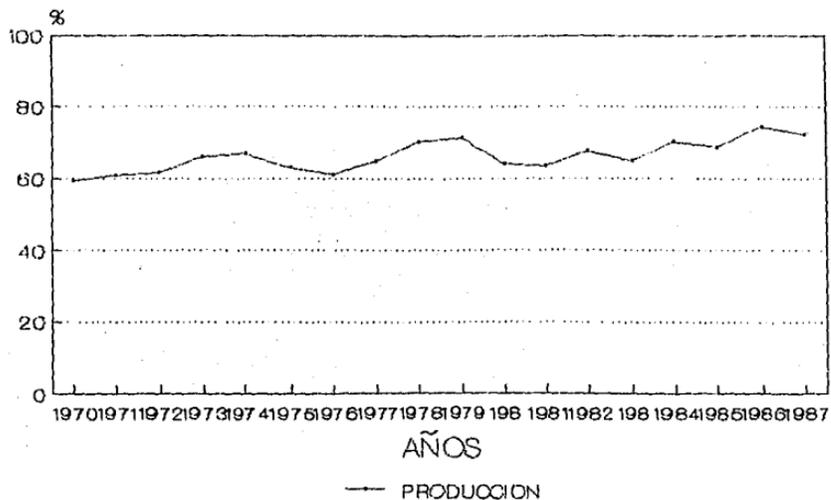


FIGURA 1.2

## SUPERFICIE CULTIVADA.

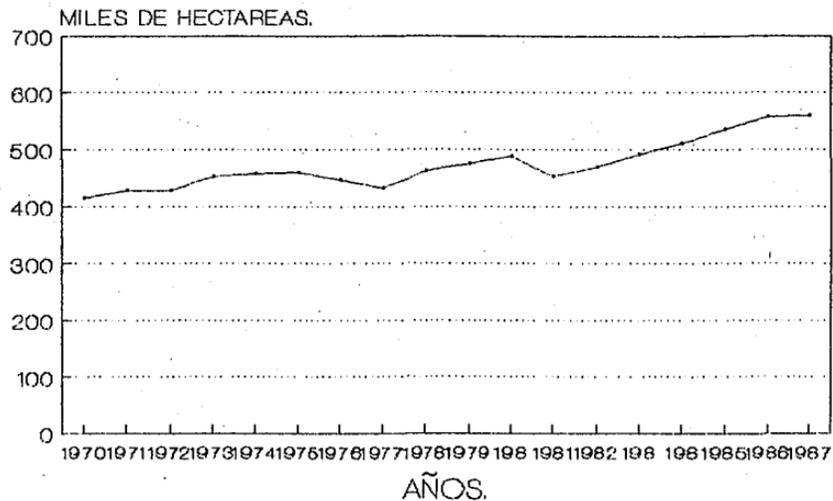


FIGURA 1.3

## RENDIMIENTO DE FABRICA. (PORCENTAJE)

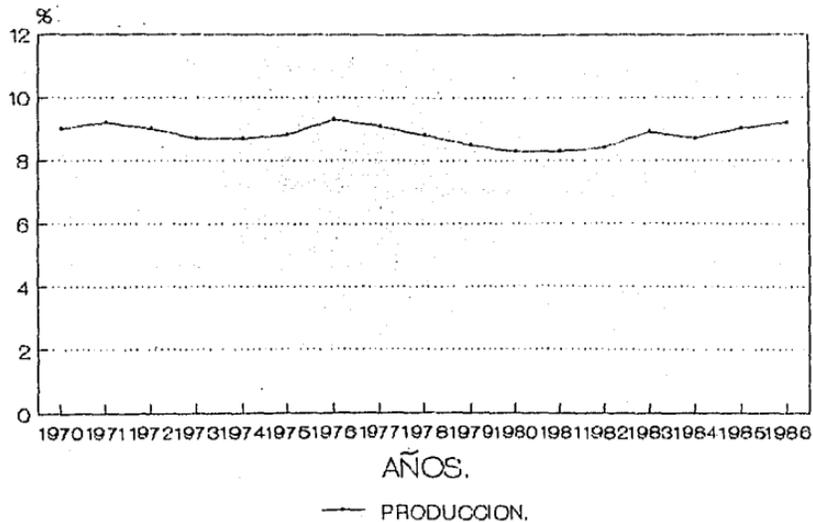


FIGURA 1.4

## DEMANDA

La producción nacional de azúcar se ha destinado fundamentalmente a satisfacer las necesidades de los dos principales sectores demandantes de este producto: el Doméstico y el Industrial, dichos sectores han intercambiado su posición en su estructura de consumo, así se tiene que para 1965 el 67.1% de la demanda total fué absorbido por el sector doméstico, mientras que a partir de 1979 los requerimientos del sector industrial sobrepasaron el 50% de la demanda nacional (fig. 1.5 y cuadro 1.4).

Esta evolución en la estructura del azúcar se debe al mayor dinamismo observado en la demanda del sector industrial, que favorecido por las políticas de fomento y sustitución de importaciones implementados por el estado provocaron un acelerado crecimiento del sector en todo su conjunto, incidiendo específicamente en las industrias que utilizan el azúcar como materia prima de importancia; asimismo, estas industrias aprovecharon la congelación de los precios e incrementaron de una forma notable su consumo.

Dentro del mismo consumo industrial existe una estructura claramente definida, en la cual ocupa un lugar preponderante la industria refresquera, que mediante la creación de hábitos de consumo generados publicitariamente a través de los medios de comunicación ha inducido a que la población de México haya consumido en 1982 alrededor de 16.2 millones de

litros de refrescos embotellados por día, lo que significa un consumo per cápita para la población entre 5 y 44 años de edad un consumo promedio de 323 ml diarios (\*).

De esta forma, la estructura del consumo industrial de azúcar en 1982 estaba integrada fundamentalmente por tres industrias: La embotelladora, la dulcera y la panificadora (fig.1.6).

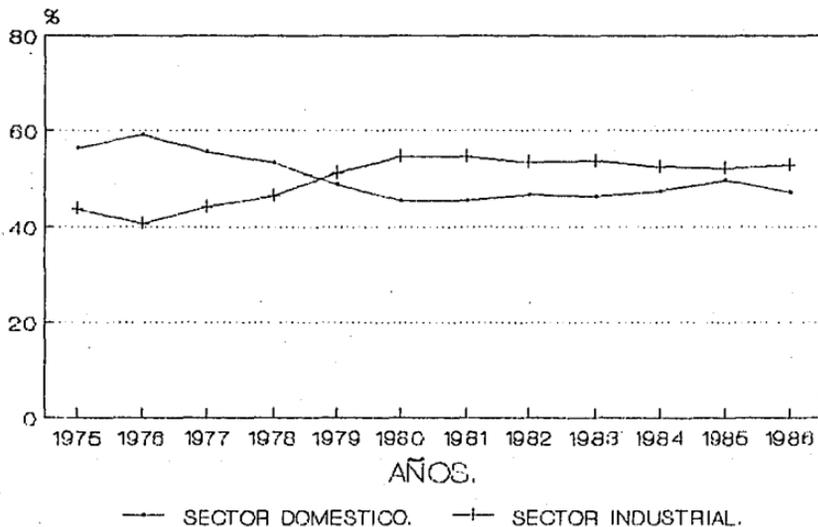
Si bien el análisis del consumo per cápita por estados pone de manifiesto importantes diferencias, es conveniente mencionar que el consumo nacional se ha conservado por encima del per cápita mundial (cuad. 1.5).

Asimismo, la comparación con algunas regiones continentales evidencia el elevado consumo per cápita de azúcar en México, y aún una comparación por países, confirma esta posición (figura 1.7).

---

(\*) : Sobre este aspecto se sugiere ver : "Reorientar el consumo interno de azúcar, objetivo de C.N.I.A."

## CONSUMO SECTORIAL DE AZUCAR. (PORCENTAJE)



CUADRO 1.4  
CONSUMO SECTORIAL DE AZÚCAR  
1965-1986  
(MILES DE TONELADAS)

AÑO	CONSUMO DEL SECTOR INDUSTRIAL POR RAMA DE ACTIVIDAD SELECCIONADA														
	CONSUMO TOTAL	CONSUMO DOMESTICO	% DEL TOTAL	TOTAL	% DEL TOTAL	EMBOTE-LLADORA	% DEL IND.	FANIFI-CADORA	% DEL IND.	DULCERA	% DEL IND.	VITIVI-NICOLA	% DEL IND.	OTRAS*	% DEL IND.
1965	1359	912	67.1	446	32.9	277	62.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1970	1841	1078	58.6	762	41.4	460	60.4	94	12.3	127	16.7	8	1.0	73	9.6
1971	1775	1062	59.8	713	40.2	397	55.7	103	14.4	128	18.0	10	1.4	75	10.5
1972	1910	1128	59.1	782	40.9	436	55.8	113	14.4	133	17.0	15	1.9	85	10.9
1973	2125	1251	58.9	874	41.1	466	51.6	118	13.1	162	17.9	24	2.6	133	14.8
1974	2220	1295	57.2	930	42.5	522	53.2	125	11.2	168	16.9	32	3.5	125	12.4
1975	2387	1345	56.3	1042	43.7	573	55.0	134	12.9	172	16.5	44	4.2	119	11.4
1976	2473	1465	59.2	1008	40.8	487	48.3	135	15.4	187	18.6	53	5.3	126	12.4
1977	2477	1380	55.7	1097	44.3	551	58.2	166	15.1	166	15.1	54	4.9	160	14.7
1978	2717	1450	53.4	1267	46.6	669	52.8	183	14.4	156	14.7	44	3.5	185	14.6
1979	2855	1392	48.8	1463	51.2	888	55.2	181	12.4	206	14.1	41	2.8	227	15.5
1980	2921	1330	45.5	1591	54.5	847	53.2	213	13.4	211	13.3	59	3.7	261	16.4
1981	2917	1327	45.5	1590	54.5	899	53.1	225	13.9	223	13.2	57	3.4	176	16.4
1982	3122	1459	46.7	1663	53.3	939	53.1	240	13.6	244	13.8	24	1.4	216	18.1
1983	2926	1357	46.4	1569	53.6	884	53.1	244	14.6	216	13.0	25	1.5	200	17.0
1984	2990	1422	47.5	1568	52.4	855	54.5	245	15.6	233	14.8	26	1.7	209	13.4
1985	3004	1441	47.9	1564	52.0	887	56.7	213	13.6	215	13.7	21	1.4	228	14.5
1986	3112	1471	47.3	1641	52.7	926	56.4	241	14.7	211	12.8	23	1.4	240	14.0

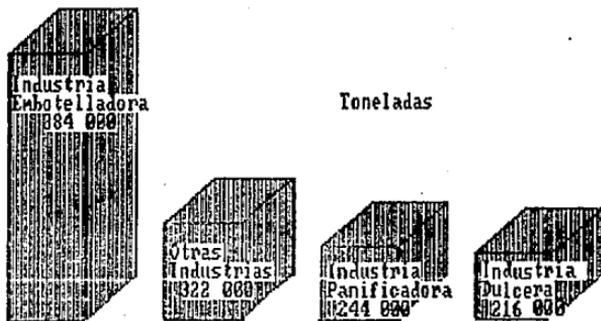
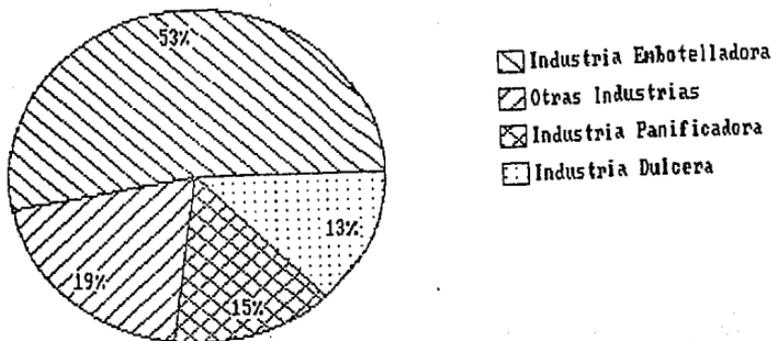
\* SE DESTACA EN ESTE RENCION LA INDUSTRIA EMPACADORA

ND: NO DISPONIBLE

FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE C.H.I.A. ESTADISTICAS AZUCARERAS. VARIOS AÑOS

FIGURA 1.6

Estructura del consumo industrial de azúcar  
1983



CUADRO 1.5  
**CONSUMO PERCAPITA MUNDIAL Y POR REGIONES.**  
 1973 - 1986  
 (KILOGRAMOS)

ANOS	AMERICA DEL NORTE	ESTADOS UNIDOS	MEXICO	CENTRO- AMERICA	AMERICA DEL SUR	BRASIL	EUROPA	ASIA
1973	50.3	nd	39.9	40.1	38.2	nd	41.3	7.5
1974	47.6	nd	39.2	39.4	39.6	nd	41.7	7.4
1975	42.4	nd	41.3	40.4	40.6	nd	38.7	7.0
1976	45.2	nd	41.4	41.2	40.9	nd	41.0	7.4
1977	47.0	46.8	40.2	40.7	40.9	44.7	40.6	8.3
1978	44.9	44.7	42.7	42.2	40.8	45.4	41.3	9.1
1979	43.5	43.1	43.6	41.8	43.7	50.2	41.5	9.8
1980	41.4	41.0	43.3	43.8	45.8	50.9	41.0	8.5
1981	38.9	39.0	43.4	43.9	42.2	48.1	40.6	8.6
1982	36.2	36.0	45.2	45.9	41.6	48.8	41.3	9.4
1983	35.1	34.5	41.3	42.2	40.4	46.1	39.6	9.7
1984	35.1	32.4	44.4	45.3	43.3	49.0	40.6	9.9
1985	33.8	30.3	44.8	45.0	43.7	49.3	40.6	10.2
1986	32.5	28.2	45.2	46.4	44.0	49.6	40.5	10.4

nd: No disponible.

Fuente: Sugar Year Book 1983.

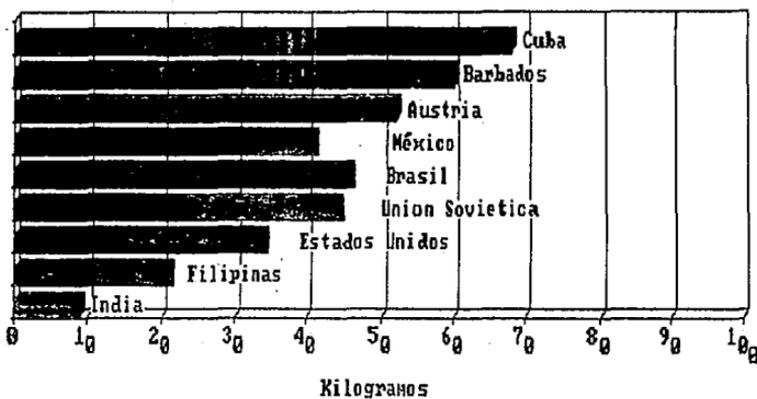
Nota: Los datos de 1984 -1986 son estimados con base en datos históricos.

FIGURA 1.7

CONSUMO PERCAPITA DE AZUCAR  
PAISES SELECCIONADOS

(KILOGRAMOS)

1983



## CAPITULO II

En el presente capítulo se describe en forma breve las diferentes etapas que integran el Proceso para la elaboración de azúcar estándar, los equipos más relevantes, las variables más importantes que afectan al mismo y sus recomendaciones a considerar. De acuerdo con este orden estructural se pretende mostrar un Panorama General del Proceso, sus equipos y principales factores involucrados.

Este capítulo no pretende analizar en detalle el marco antes mencionado, ya que no es el objetivo fundamental del presente trabajo. Se persigue con el mismo, aportar un conocimiento general que ubique al lector en el Proceso para una mayor comprensión en la aplicación de los conceptos siguientes: Unidad Productiva y Metodología del Balance de Energía. Dichos conceptos representan la parte fundamental del trabajo, por lo que el presente capítulo es un complemento de ayuda al objetivo principal.

## DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA ELABORACION DE AZUCAR CRUDO

Este Proceso se encuentra dividido en varias etapas, siendo estas las siguientes:

- BATEY
- MOLIENDA
- CLARIFICACION
- EVAPORACION
- CRISTALIZACION
- CENTRIFUGACION
- SECADO Y ENVASADO

### BATEY

El Batey es el área de recepción de la materia prima (caña), siendo ésta primeramente cuantificada (pesada) y descargada en diferentes medios mecánicos, donde se procede a darle un tratamiento de lavado con agua caliente para eliminar parte de la tierra que trae consigo.

Posteriormente la materia prima es cortada en trozos menores, haciendose pasar por un separador magnético a fin de separar partículas metálicas indeseables (pedazos de metal, tornillos, tuercas, etc.) que pudieran dañar algunos equipos. Una vez que la caña ha recibido la preparación anterior, ésta es llevada a la etapa siguiente:

### MOLIENDA

El objetivo de ésta etapa consiste en extraer el jugo

contenido en la materia prima (caña), esto se logra comprimiendo la caña a través de una batería de molinos, donde se obtiene como producto principal el jugo mezclado o guarapo, y como subproducto el bagazo (residuo fibroso). Antes de pasar a la siguiente fase del proceso, el jugo mezclado es sometido a una etapa de filtración a fin de separar las partículas de bagazo que trae consigo.

#### CLARIFICACION

El objetivo fundamental de la clarificación consiste en obtener un jugo claro, transparente y brillante, exento de toda materia (impurezas) que no sea azúcar, y que pueda evitar la cristalización.

Para lograr éste objetivo se emplea la Cal en forma de Oxido de Calcio o de Hidróxido de calcio. La cal se puede agregar al jugo en polvo o en forma de suspensión acuosa.

La adición de cal al jugo se efectúa en dos etapas: la primera se lleva a cabo cuando el jugo sale de la sección de Molienda y se alcance un pH con un valor de 6.4, posteriormente el jugo es sometido a calentamiento. La segunda etapa consiste en una nueva adición de cal, hasta obtener un pH en el jugo de 7.6, nuevamente el jugo es calentado hasta la ebullición.

---

(\*) Con el fin de lograr la máxima extracción de jugo en la materia prima, el residuo fibroso se le agrega agua y se comprime nuevamente para extraer la sacarosa remanente. A la mezcla de los jugos obtenidos se le denomina jugo mezclado o guarapo.

Posteriormente el jugo es transportado a unos tanques donde se lleva a cabo la sedimentación de compuestos insolubles en el jugo, tales como grasas, albuminas coaguladas, sales de calcio y la cal que no reaccionó. A este conjunto de materias insolubles se le denomina cachaza o lodos, mientras que la fase líquida recibe el nombre de Jugo Claro, el cual es filtrado y llevado a la siguiente etapa del proceso:

#### EVAPORACION

El jugo claro proveniente de la etapa de clarificación contiene aproximadamente el 15% en peso de sólidos disueltos, de los cuales la sacarosa se encuentra en mayor proporción. La concentración de estos sólidos se lleva a cabo mediante la eliminación del agua contenida, siendo éste el objetivo de la evaporación.

El jugo concentrado que se obtiene, una vez que el agua ha sido evaporada, recibe el nombre de meladura, cuyo grado de concentración es cuantificado a través de una variable denominada Grados Brix.

Cuando la meladura ha alcanzado el grado de concentración idóneo para poder efectuar el proceso de cristalización, se procede entonces a la etapa siguiente:

#### CRISTALIZACION

La cristalización del azúcar tiene por objeto separar la sacarosa contenida en la meladura en forma de cristales.

Existen varios métodos de cristalizar la sacarosa, cada uno de los cuales se aplica de acuerdo con las necesidades y

características de la meladura y del equipo disponible para esta operación.

La cristalización se verifica en equipos apropiados en donde se da lugar a la formación y crecimiento de los cristales, hasta que las características de la meladura lo permitan.

Durante esta operación se presenta una masa de dos fases: los cristales formados y el licor que da lugar a la formación de los mismos. Al licor existente se le denomina comunmente "Licor Madre", y a la masa en conjunto se le denomina "Masa Cocida".

Una vez que se ha llegado al agotamiento de la masa cocida (esto es, cuando se ha llegado a la máxima formación de cristales), esta es llevada a la siguiente etapa del proceso:

#### CENTRIFUGACION

El objetivo de esta etapa consiste en separar los cristales de azúcar del licor madre, ambos constituyentes de la masa cocida. Para lograr dicho objetivo la masa cocida es sometida a un proceso de "Centrifugación", en donde se verifican las operaciones de purga, lavado y descarga del azúcar.

La purga consiste en separar los cristales de azúcar previamente formados, así como el licor madre, el cual se separa por la acción de una fuerza centrífuga.

Con el fin de eliminar el licor madre que queda en los cristales de azúcar, ésta es adicionada con agua y posteriormente descargada para dar lugar la siguiente etapa:

## SECADO Y ENVASADO

Esta última etapa tiene como objetivo eliminar la humedad contenida en el producto final.

El secado de la azúcar se efectúa haciéndole circular aire caliente, posteriormente es enfriada por medio de corrientes de aire frío, se envasa en sacos apropiados y se envía finalmente al mercado.

**PRINCIPAL EQUIPO UTILIZADO EN UN INGENIO AZUCARERO PARA LA ELABORACION DE AZUCAR ESTANDARD**

El objetivo de éste tema, consiste en presentar de manera general los principales equipos que se utilizan en las diferentes etapas de operación de un Ingenio Azucarero para la elaboración de azúcar crudo.

**BATEY**

Las principales máquinas y equipos que se emplean en ésta etapa son las siguientes:

- Plataforma Basculante
- La Grua Cañera o la Grua de Puente
- Conductor de Caña
- Cuchillas Cañeras
- Separador Magnético
- Desfibradora

**Plataforma Basculante:**

Por medio de estos equipos se recibe y se cuantifica directamente la materia prima que llega a un Ingenio Azucarero. A éste tipo de equipos se le denomina comunmente Bascula del Batey.

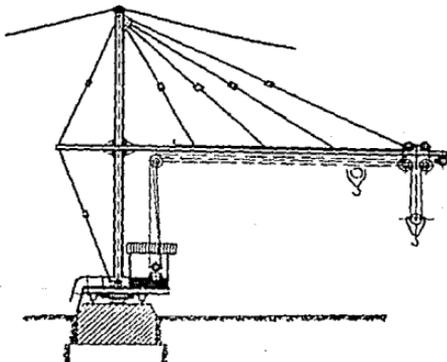
**Grua Cañera:**

Una vez que la materia prima ha sido cuantificada, se procede a descargarla por medio de unas máquinas denominadas gruas cañeras, siendo este uno de los medios más empleados para la

descarga de la caña. Estas gruas se dividen de acuerdo con su modo de sustentarse en:

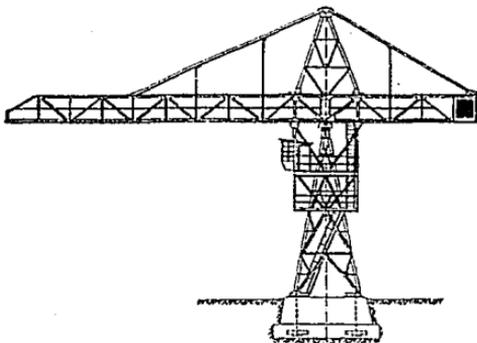
- a) Gruas de Cable
- b) Gruas Autoestables
- c) Grua de Puente

La grua de cable (fig. 2.1.a) es el modelo más ligero, y cuya estabilidad se asegura por cables tensores fijos a una corona situada en la extremidad superior del mastil. Estos cables para permitir la rotación del brazo horizontal, deben fijarse al suelo a una gran distancia del eje de la grua. Evidentemente, en caso de ruptura de alguno de los cables, será necesario parar inmediatamente la grua hasta que haya sido reemplazado el cable roto, ya que los cables restantes quedan imposibilitados para resistir las tensiones resultantes del trabajo.



(figura 2.1.a)

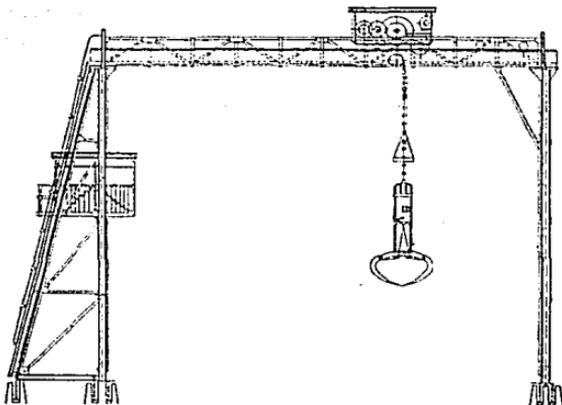
Gruas Autoestables (fig. 2.1.b). Son notablemente más pesadas y más macisas, pero evitan las molestias y los peligros de los cables que obstaculizan la circulación en el patio del Ingenio.



(figura 2.1.b)

**Grua de Puente:**

Este sistema (fig. 2.2) es bastante análogo al descrito anteriormente. En lugar de un círculo, se trata de un rectángulo, la longitud y anchura se fijan de acuerdo con las necesidades y características del área disponible en el Batey. Por esta razón el sistema es adecuado para patios largos y angostos que no tienen espacio suficiente para permitir el giro de la grúa.



(figura 2.2)

#### Conductor de Caña:

El conductor de caña (fig. 2.3), a menudo descrito como la banda de caña, es el tablero movidizo que transporta la materia prima, suministrada por la grúa, hacia la sección de los molinos, asegurando así la alimentación de los mismos.

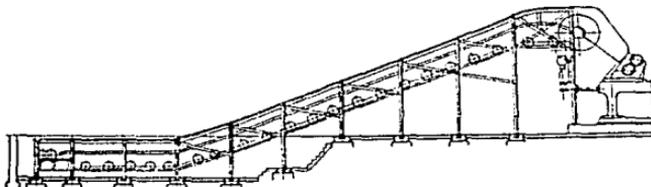
Una alimentación efectiva a los molinos, exige una tolva elevada, y ya que la caña debe pasar del nivel del patio al nivel de la tolva, el conductor lleva por lo tanto una parte ascendente. Se tiene entonces:

- a) La parte horizontal
- b) La parte inclinada
- c) La cabeza de llegada de las cañas.

La velocidad del conductor de caña, no puede fijarse de

manera absoluta, sin embargo, debe procurarse que esté relacionada con la velocidad de los molinos.

La caña que ha sido colocada y lavada sobre el conductor llega a una sección del mismo, donde se encuentran colocadas unas barras niveladoras, que tienen por objeto acomodar las cañas sobre el conductor y obtener un colchon de caña de un grueso casi uniforme.



(figura 2.3)

#### Cuchillas Cañeras:

Con la caña entera no es posible alimentar regularmente a los molinos. El trabajo de las cuchillas consiste en convertir a las cañas enteras en pedazos cortos, formando así una masa compacta que cae fácilmente en la tolva de alimentación, por lo que el primer equipo de molienda (desmenuzadora) tomará sin dificultad alguna la materia prima, absorbiéndola de una manera más continua.

Este tipo de equipos se encuentran instalados en una sección del conductor de caña (fig. 2.4), y su función principal consiste en aumentar la capacidad de los molinos.



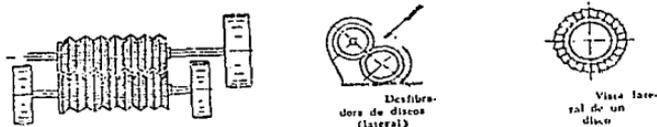
(figura 2.4)

**Separadores Magnéticos:**

El separador magnético es un electroimán que se encuentra instalado sobre el conductor de caña. Este separador atrae y retiene los pedazos de metal que pasan por su campo magnético.

**Desfibradora:**

La finalidad de este equipo consiste en darle la preparación final a la caña y facilitar así la extracción del jugo por los molinos. Su nombre indica la acción que desarrolla: corta en pedazos pequeños, desfibra (figura 2.5).



(figura 2.5)

## MOLIENDA

Los principales equipos utilizados en esta etapa son los siguientes:

- \_ Desmenuzadora
- \_ Tandem de Molinos (Bateria de Molinos)
- \_ Tamices Vibratorios

### Desmenuzadora

La desmenuzadora es la primera máquina con presión que encuentra la caña al llegar a los molinos. Generalmente se encuentra constituida por 2 mazas o cilindros.

La desmenuzadora tiene 2 funciones principales:

- a) Asegura la alimentación a la batería de molinos.
- b) Prepara la caña facilitando la toma de ésta por los molinos, así como su extracción de jugo.

La desmenuzadora tiene las siguientes características principales:

- 1.- Posee una superficie especialmente construida que le permite tomar en mejor forma las cañas o los pedazos de caña que se le alimentan.
- 2.- Por su diseño especial desmenuza y despedaza la caña, a fin de que el trabajo de los molinos sea más eficaz.

### Molinos

Estos equipos tienen como objetivo extraer el jugo contenido en la caña.

Basicamente los molinos están constituidos por 3 cilindros horizontales dispuestos en forma triangular. Los cilindros

reciben el nombre genérico de mazas, siendo su denominación particular la siguiente:

- Masa superior a la que se encuentra colocada encima de las otras dos, ésta masa tiene la posibilidad de subir o bajar variando la abertura que existe entre ella y las dos masas restantes. Esta abertura es función de la cantidad de caña por procesar.

- Masa cañera es aquella por donde entra la caña al molino.

- Masa bagacera es aquella por donde pasa la caña antes de salir del molino.

Un Tandem de molinos, puede estar constituido por 4, 5 o 6 molinos de tres mazas cada uno, existiendo un transportador de bagazo entre la maza bagacera de uno y la maza cañera del molino siguiente.

#### Tamices Vibratorios

Estos equipos tienen como objetivo filtrar el jugo mezclado obtenido en los molinos, para eliminar las partículas de bagazo que trae consigo.

Los tamices vibratorios están formados por una tela de cobre perforada sostenida en una armadura ligera.

#### CLARIFICACION

Una vez que el jugo ha pasado por el tratamiento deseado, es necesario dejarlo decantar para separar el jugo claro de los lodos sedimentados (cachaza). Para este objetivo se utilizan unos tanques rectangulares denominados comúnmente decantadores, en los cuales se deja reposar al jugo el tiempo "t"

necesario para la decantación.

El número de decantadores necesarios para tal fin está en función de la capacidad unitaria de los mismos y esta a su vez del tiempo necesario para la decantación.

Clarificadores: Se da el nombre de clarificador a un decantador continuo, al cual se le hace llegar de manera regular y continua el jugo por decantar y que es lo suficientemente grande para que la velocidad de circulación del jugo tenga un valor tan bajo que no impida que la decantación se realice. El jugo claro obtenido sale por la parte superior del clarificador de manera regular y continua, tal como lo hacen las cachazas por la parte inferior.

Debido a que los clarificadores están divididos generalmente en varios compartimientos que multiplican la superficie de decantación, se obtienen con estos equipos las grandes ventajas del trabajo continuo: Se eliminan las pérdidas de tiempo y de capacidad que se originan en el llenado y vaciado de los tanques; se elimina la mano de obra necesaria para la vigilancia y la ejecución de las operaciones de llenado, vaciado, separación de cachaza en su momento oportuno.

Otra de las ventajas que presentan estos equipos es el menor espacio requerido que el espacio ocupado si se tuvieran varios decantadores discontinuos.

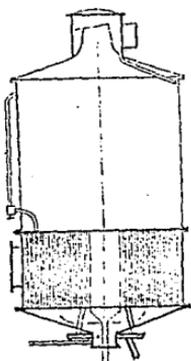
## EVAPORACION

En esta etapa los principales equipos empleados son:

- Evaporadores
- Tachos al vacío

Evaporadores:

El evaporador de una fábrica de azúcar está formado básicamente por un cilindro vertical montado sobre un intercambiador tubular (Calandria) a través del cual se efectúa el intercambio de temperatura entre el vapor de calentamiento que cubre los tubos por el exterior y el jugo por concentrar que circula por el interior de los tubos. (fig.2.6).



(figura 2.6)

El cilindro del evaporador termina en la parte superior con un "separador", cuyo objeto es retener las gotas de líquido que puede arrastrar el vapor del jugo.

El espacio que existe sobre la calandria, tiene como objeto disminuir los riesgos de arrastre de las gotas de jugo que se proyectan por la ebullición del mismo.

En Ingenios Azucareros, la evaporación se verifica en sistemas de múltiple efecto. Un múltiple efecto consta generalmente de cuatro evaporadores arreglados en serie, de manera que el jugo que se concentra en un evaporador, pasa al siguiente para evaporarle otra cantidad de agua que contiene.

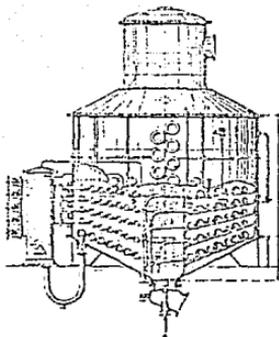
La ventaja que ofrece el múltiple efecto, es que a través de este tipo de sistema es posible concentrar el jugo hasta los grados brix deseados.

Tachos al Vacío:

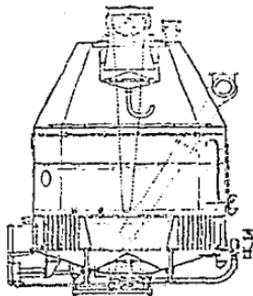
El principio del tacho al vacío es análogo al de uno de los cuerpos de un evaporador. Sin embargo, el objetivo de estos equipos consiste en alcanzar una mayor concentración de la meladura que se les alimenta, y obtener mediante la evaporación, una masa cocida con el mayor contenido de sacarosa.

Los tachos al vacío pueden emplear dos sistemas de calentamiento:

- a) Serpentes (fig. 2.7)
- b) Calandria (fig.2.8)



(figura 2.7)



(figura 2.8)

En el caso de los tachos con calandria, su operación es similar a la de los evaporadores de multiple efecto.

La gran ventaja del tacho de serpentín es la de permitir el calentamiento con vapor de alta presión, directo o reducido a una presión de 2 a 5 Kg/cm . En este caso la mínima diferencia de temperatura entre el vapor y la masa cocida se amplía considerablemente y consecuentemente se mejora la circulación de la masa.

Por otro lado, un tacho de calandria mal diseñado da peores resultados que cualquier tacho de serpentín, de manera contraria, un tacho de calandria bien diseñado y adaptado para el trabajo a que se destina debe permitir el cocimiento de masa cocida de cualquier pureza en las mejores condiciones.

## CRISTALIZACION

El principal equipo que se utiliza en los Ingenios Azucareros para esta etapa del proceso son los cristalizadores.

Dada la fuerte tendencia que tiene la masa cocida a cristalizarse, despues del cocimiento (esto es, despues de haberse complementado la evaporación en los tachos), se hace necesario mantenerla en movimiento durante cierto tiempo, con el fin de complementar la formación de cristales de azúcar. Para alcanzar tal proposito, es necesario el uso de equipos especiales llamados cristalizadores.

El cristalizador ordinario consiste simplemente en un tanque de acero de sección en U provisto de un agitador y un dispositivo de enfriamiento (fig. 2.9).



(figura 2.9)

Dado que la masa cocida es viscosa y de no contarse con la agitación, las pequeñas partículas de sacarosa que deben cristalizarse en torno a los cristales existentes, lo harían con mayor dificultad.

Los cristalizadores están provistos con un dispositivo para intercambiar calor, el cual es empleado como enfriador cuando se descarga el tacho en el cristalizador, con el fin de acelerar la formación de los cristales.

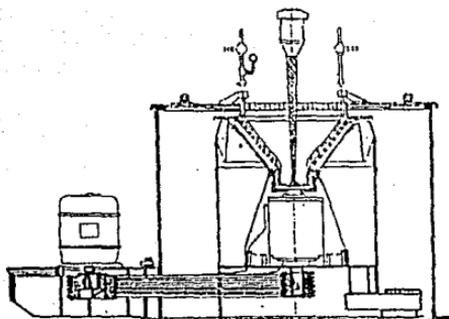
#### CENTRIFUGACION

Para efectuar esta etapa en el Ingenio Azucarero, el principal equipo utilizado es la Maquina Centrifugadora cuyo objetivo consiste en separar los cristales formados (azúcar) del licor madre.

La maquina centrifugadora es uno de los equipos más importantes en el Ingenio, existiendo en uso diferentes tipos, en los cuales, la fuerza motriz se transmite por medio de una banda, desde una maquina de vapor, o por un motor electrico.

De manera general, una maquina centrifugadora consta de una canasta cilíndrica diseñada para recibir la masa cocida por tratar, un eje vertical o flecha en cuyo extremo superior se encuentra el motor o la toma de fuerza que mueve a la maquina. Una vez que la maquina comienza a girar, los cristales de azúcar se adhieren a la pared interior por acción de la fuerza centrifuga, y el licor madre (fase liquida) se separa a través de unos orificios de la canasta (maquina centrifugadora).

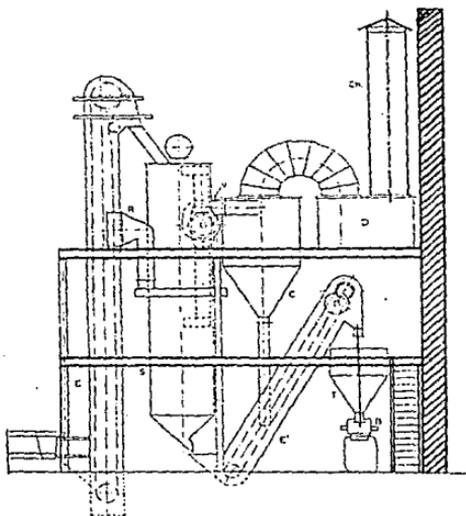
La descarga de la maquina centrifugadora se efectúa abriendo una válvula ubicada en la parte inferior, permitiendo la salida de azúcar hacia los secadores (fig. 2.10)



(figura 2.10)

## SECADO Y ENVASADO DEL AZUCAR

El aparato utilizado en los ingenios para eliminar la humedad contenida en el azúcar, es el secador de azúcar. Este equipo se compone de un elevador de azúcar E; un secador rotatorio S; que sirve al mismo tiempo como enfriador en su parte inferior; un calentador de aire R; un ventilador V; un ciclón C; un separador de polvo D; una chimenea Ch; un segundo elevador E'; una tolva T; y una báscula automática B, para pesar los sacos de azúcar (fig. 2.11).



(figura 2.11)

PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE  
OPERACION EN EL INGENIO AZUCARERO

El objetivo de este rubro consiste en determinar las principales causas o variables que afectan la operación de un Ingenio Azucarero, así como las recomendaciones a seguir para abatir tales efectos.

BATEY

1.- Causas debidas al suministro de Materia Prima (caña).

Un Ingenio Azucarero funciona generalmente de manera continua del lunes en la mañana al sábado por la noche, deteniéndose 36 horas (incluyendo el domingo) para reparaciones menores y limpieza del múltiple efecto. El Ingenio opera entonces durante 132 horas a la semana.

Generalmente, el suministro de materia prima se efectúa en el curso del día durante 12 hrs, de las 6 a las 18 hrs.

La cantidad de caña recibida en el Batey debe ser tal, que no impida la entrega de ésta en las etapas subsecuentes del proceso.

Recomendaciones:

Para que el Ingenio no quede desprovisto de materia prima en la noche, es necesario que en el Batey se reciba en 12 hrs. el tonelaje que manipula en 24 hrs. Esto es:

$$\text{Provision de la noche} = 12C + a$$

donde:

C = cantidad de materia prima manipulada por el ingenio en 1 hr.

a = margen de seguridad, que debe siempre mantenerse para evitar paradas del molino por falta de materia prima.

Este margen "a" es necesario para hacer frente a variaciones accidentales del aprovisionamiento: lluvias que disminuyen el corte y obstaculizan el transporte, irregularidades en entregas por parte de los cañeros, etc.

El margen no debe ser ni muy pequeño ni muy grande, ya que en este último caso se llenaría inutilmente el patio y se aumentaría el tiempo entre el corte de la caña y su paso por los molinos. Un buen valor es aquel que corresponde a 3 hrs de marcha de los molinos:  $a = 3C$ .

Si se adopta este valor, la plataforma debe tener en el principio de la noche:

$$P = 12C + 3C = 15C$$

2.- Causas debidas a fallas en los equipos.

Otra de las situaciones que afecta las operaciones en un Ingenio Azucarero son las diferentes fallas que pudieran presentarse en cualquiera de los equipos que integran al

(\*)  
Batey

-----  
(\*) Dado que las fallas que pudieran presentarse en los equipos pueden ser múltiples, por lo tanto, el tratamiento individual de estas anomalías no serán tratadas, ya que se encuentran fuera del objetivo del presente trabajo.

#### Recomendaciones:

Para tratar de reducir las fallas en los equipos, es importante establecer programas específicos de mantenimiento preventivo y correctivo, a fin de evitar situaciones que afecten las operaciones del Ingenio.

#### MOLIENDA

En esta etapa el objetivo planteado consiste en lograr una buena extracción del jugo a la materia prima, no obstante, dicha extracción se ve limitada por la naturaleza del bagazo, es decir, existe un límite hasta el cual puede ser reducido el volumen del bagazo por medio de la compresión que le infieren los molinos. El límite de volumen, pudiera ser alcanzado desde el primer molino, siendo imposible para los molinos subsecuentes el poder exprimir otra porción del jugo que aún trajese consigo el bagazo.

#### Recomendaciones:

Hoy en día, el conocimiento de esta dificultad puede ser resuelta mediante la aplicación de diversas técnicas para aumentar el volumen del bagazo que sale de cada molino por medio de la adición de agua o de jugo según sea el caso. Al proceso de adición de agua al bagazo se le llama Imbibición, mientras que la adición de jugo recibe el nombre de Maceración. La maceración y la imbibición, además de solucionar el inconveniente provocado por la imposibilidad de extraer totalmente el jugo del bagazo, actúan como diluyentes de la sacarosa y la arrastran disuelta en el jugo o en el

agua que se haya empleado al repetirse la operación de comprimir al bagazo en el molino correspondiente.

No obstante, para lograr una buena extracción del jugo, es necesario tomar en cuenta la eficiencia del trabajo de los molinos, la cual depende de los factores siguientes:

- a) Estado de preparación de la caña proveniente del batey.
- b) Cantidad de presión ejercida por los molinos.
- c) Diseño y número de cilindros en la batería de los molinos.
- d) Eficiencia de la Imbibición.
- e) Ajuste óptimo de los molinos.
- f) Estado de desgaste del material, etc.

#### CLARIFICACION.

En esta etapa del proceso la eliminación de impurezas contenidas en el jugo va a depender de diversos factores:

- a) Calidad de la cal empleada.
- b) Formas de adicionar la cal al jugo .
- c) Procedimientos de alcalización utilizados.
- d) Cantidad de ácido fosforico contenido en el jugo.

- a) Calidad de la cal empleada.

La calidad de la cal utilizada para la purificación del jugo es importante ya que la arena y materiales no calcinados (impurezas) contenidos en la cal producen depositos indeseables (incrustaciones) en los evaporadores del Múltiple Efecto, además de que dificultan la purificación del jugo.

#### Recomendaciones:

Debe evitarse utilizar cales que contengan más del 2% de sales de óxido de magnesio o de óxido de hierro o de aluminio, de ser posible se debe exigir menos del 1% de óxido de magnesio. Una buena cal debe tener del 90 al 95% de óxido de calcio.

#### b) Formas de adicionar la cal al jugo.

La cal se puede agregar al jugo en polvo o en forma de suspensión acuosa, que recibe el nombre de lechada de cal.

Si se adiciona la cal al jugo en forma sólida (polvo), se tiene una disolución muy lenta con fracciones de jugo más concentradas de cal que otras, obteniéndose por lo tanto un jugo con alcalinización insuficiente y con un mayor contenido de impurezas.

#### Recomendaciones:

Para lograr una alcalinización más eficiente y homogénea es conveniente utilizar la cal en forma de lechada, la cual se mezclará en seguida al jugo, de tal manera que su difusión será más rápida y su acción más regular, precipitando así la mayor parte de impurezas contenidas.

#### c) Procedimientos de Alcalinización utilizados.

En la actualidad existen varios métodos de alcalinización del jugo, sin embargo, el más utilizado es aquel en el que la alcalinización se realiza en dos partes: la primera se lleva a cabo cuando el jugo sale de la sección de los molinos hasta alcanzar un pH con un valor de 6.4, ya que en este momento y sometiendo el jugo a calentamiento, la precipitación de las

impurezas se realiza con mayor velocidad, posteriormente se completa la alcalinización con lechada de cal hasta alcanzar un pH en el jugo de 7.6 y se calienta nuevamente hasta la ebullición para lograr así una clarificación más eficiente. Generalmente la concentración con la que entra el jugo claro a los evaporadores es de 15 a 18 grados brix.

d) Cantidad de ácido fosfórico contenido en el jugo.

El ácido fosfórico se encuentra en la caña en forma de compuestos insolubles:

d.1) Fosfatos solubles del jugo.

d.2) En combinación con la proteína de las células.

La cantidad de ácido fosfórico contenido en el jugo influye en su clarificación. Cuanto mayor sea la cantidad de este ácido es más la clarificación. Desafortunadamente, ciertas variedades de caña dan un jugo pobre en ácido fosfórico, el cual es difícil de tratar. En este último caso, es recomendable adicionar ácido fosfórico antes de la alcalinización, ya que este ayuda a precipitar parte de las impurezas contenidas en el jugo.

Una vez que se ha adicionado el ácido al jugo se efectúa el procedimiento de clarificación adoptado.

#### EVAPORACION.

Una de las principales variables que influyen en la evaporación y que es necesario manejar adecuadamente es la viscosidad de la meladura; estos es: conforme el jugo se concentra, la viscosidad se incrementa rápidamente junto con los Brix, iniciándose la formación de cristales; de tal

manera que la meladura modifica su naturaleza al pasar progresivamente del estado liquido a una condición en parte sólida y en parte liquida. Así, la meladura pierde su fluidez progresivamente, de manera que es necesario emplear metodos diferentes para su manejo <sup>(\*)</sup>. En tales condiciones el material recibe el nombre de Masa Cocida.

Las recomendaciones a seguir para alcanzar la maxima concentración del jugo y permitir su manejo adecuado, son las siguientes:

- 1.- Efectuar la concentración en 2 etapas.
- 2.- Emplear un tipo de equipo similar (en principio) al evaporador, pero mejor adaptado para manejar el producto viscoso que se debe concentrar.

1.- Efectuar la concentración en 2 etapas:

Dado que el jugo claro, la meladura y la masa cocida poseen características y condiciones de viscosidad muy diferentes, se hace necesario llevar a cabo la concentración del jugo en 2 etapas:

a) La Evaporación. Esta primer etapa de concentración inicia a partir del jugo claro y finaliza hasta la obtención de la meladura. Esta operación se verifica en sistemas evaporadores de multiple efecto, de tal manera que el jugo que se

---

(\*) La meladura conserva este nombre hasta antes de entrar a los tachos, posteriormente se denomina Masa Cocida.

concentra en un evaporador, pasa al siguiente efecto para evaporarle otra porción de agua que contiene.

b) El cocimiento. Esta segunda etapa de concentración inicia a partir de la meladura y finaliza hasta obtener una masa cocida formada por cristales solidos de sacarosa y el licor madre (agua y miel incristalizable). Esta operación es verificada en los Tachos.

Limite entre la Evaporación y el Cocimiento. El punto de cristalización del jugo de caña se encuentra comprendido entre los 78 y los 80 grados Brix, de tal manera que la Evaporación se preve y se ajusta para que el Brix de la meladura permanezca comprendido entre los 60 y 70 grados Brix.

2.- Utilización de los tachos para completar la evaporación. Debido al diseño especial de estos equipos, similares en operación a los evaporadores, es posible favorecer el manejo de la meladura, cuya circulación en el mismo será controlada por calentamiento, logrando así disminuir su viscosidad y aumentar su concentración.

#### CRISTALIZACION.

En esta etapa del proceso una de las variables más importantes a controlar es la temperatura que debe tener la masa cocida para alcanzar un alto porcentaje de cristalización.

Dado que la velocidad de cristalización en las masas cocidas depende de la viscosidad, la temperatura (que influye en la viscosidad) y la concentración de sacarosa, se hace necesario

controlar adecuadamente la temperatura.

Cuando la temperatura disminuye, la velocidad de cristalización se mantiene para aumentar la concentración de sacarosa, y dado que la masa cocida sale del tacho a una temperatura de 70 a 75 grados C., surge la siguiente pregunta: ¿ a qué temperatura es conveniente enfriar la masa cocida en el cristalizador para alcanzar la máxima cristalización?.

Recomendaciones:

No existe un valor específico de la temperatura el cual pudiera establecerse de manera general, ya que va a depender de la alta o baja pureza de la masa cocida. No obstante, se considera que la mejor temperatura a la que la masa cocida de baja pureza debe enfriarse es de 41 a 43 grados C. y que si se desciende de esta temperatura, el licor madre se hace tan viscoso, que el incremento en cristales de azúcar se abate por la cantidad de agua que debe agregarse al azúcar en la etapa de centrifugación.

Para las masas cocidas de alta pureza, el límite de temperatura debe ser menor, porque el aumento de viscosidad con el enfriamiento, es menor que en masas cocidas de baja pureza.

Para complementar la formación de los cristales y forzar un agotamiento más completo del licor madre, es necesario mantener en movimiento a la masa cocida (mezclarla) durante cierto tiempo después de salir de los tachos y antes de pasar a las centrifugadoras.

## CENTRIFUGACION

Un factor importante desde el punto de vista operacional y que afecta la eficiencia de esta etapa, es el tiempo de centrifugación. Los factores que influyen en este tiempo son:

- a) La viscosidad de las mieles
- b) El tamaño y la regularidad de los cristales.
- c) La rapidez de aceleración de la centrifuga, es decir, el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de operación.
- d) El volumen contenido de masa cocida en la centrifuga.

El lavado con agua puede contribuir a alargar el ciclo de centrifugación.

### Recomendaciones:

Dado que la densidad de la masa cocida y la viscosidad de las mieles causan frecuentes dificultades en su manejo y en la centrifugación, lo más simple para remediar este fenómeno, es diluir la masa cocida. Esto generalmente se hace a la salida de los cristalizadores, para asegurar una correcta distribución del agua. Si se agrega agua en el cristalizador, es difícil obtener una dilución adecuada e inevitablemente se disuelve azúcar. La cantidad de agua que debe agregarse no debe rebasar el 1 ó 2% de agua por peso de masa cocida.

El tamaño y la regularidad de los cristales va a depender de la eficiencia de la evaporación y de la cristalización, cuyas recomendaciones de operación ya se mencionaron anteriormente.

La velocidad de operación de la centrifugadora determina la fuerza necesaria para separar las mieles de los cristales de azúcar durante la centrifugación. Bajo este aspecto, es aconsejable seguir las recomendaciones del proveedor de estos equipos, así como para determinar la cantidad de masa cocida que pueden admitir los mismos para una óptima operación y un mantenimiento adecuado.

#### SECADO Y ENVASADO DEL AZÚCAR.

El azúcar proveniente de las centrifugadoras y que debe envasarse par su venta, posee generalmente una humedad comprendida entre el 0.5 y el 2%. Esta humedad disminuye la calidad de conservación del azúcar cuando pasa de cierto límite y particularmente cuando rebasa el 1%. El agua es más perjudicial cuando el azúcar es más pura.

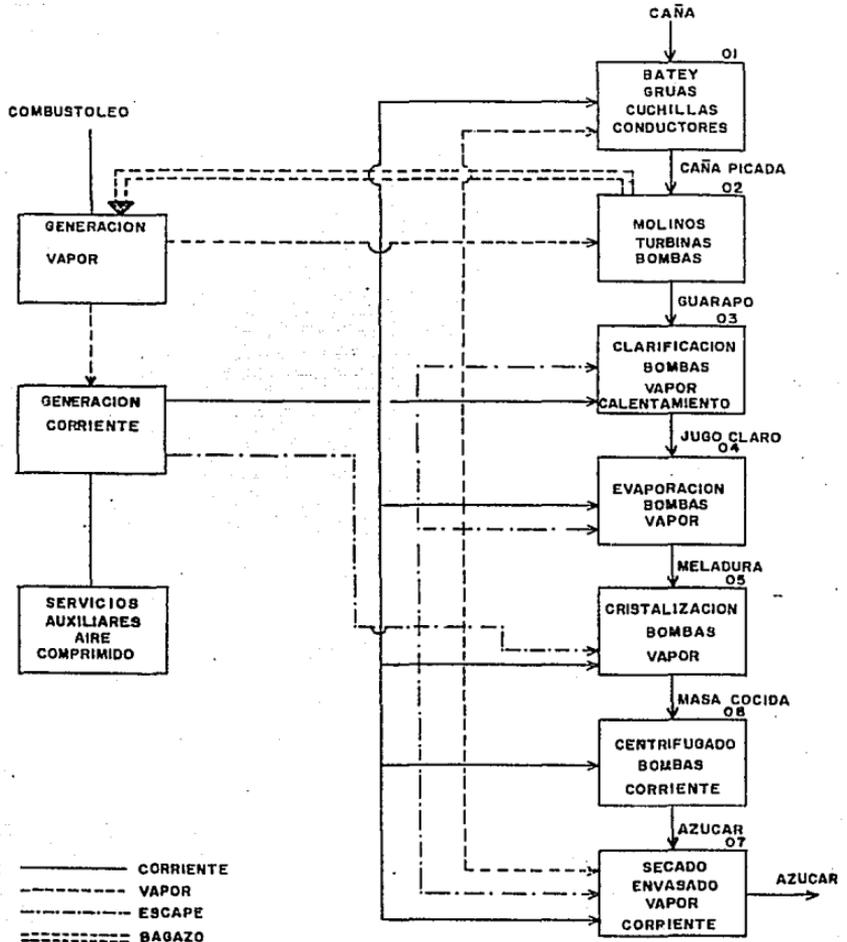
El secado de azúcar se efectúa en el secador de azúcar con corrientes de aire caliente, posteriormente se enfría con corrientes de aire frío para evitar que el azúcar se apelmace.

Esta operación de secado es importante para poder lograr una buena calidad en el azúcar, no obstante, es conveniente para su óptima conservación en almacén observar las siguientes precauciones:

- a) El azúcar debe encostarse seca y no muy caliente. Si está a una temperatura superior a 38 grados C, se endurecerá.
- b) Los sacos que están en contacto con el piso y que forman las estibas inferiores deben protegerse de la humedad, colocandolos sobre papel bituminado.

- c) Las estibas deben cubrirse con papel bituminado a los lados y en la parte superior.
- d) La temperatura en el almacén debe ser uniforme y solo debe abrirse en los días secos y frescos.
- e) El almacén debe contar con un termómetro y un hidrómetro registradores.

# ELABORACION DE AZUCAR ESTANDAR



### CAPITULO III.

#### CARACTERISTICAS DE LA INFORMACION.

En este capitulo se presenta la forma en que se organiza la información y con base en que conceptos es obtenida ésta.

#### CONCEPTO DE UNIDAD PRODUCTIVA.:

Este es un concepto de carácter general que puede ser aplicado a cualquier tipo de industria. La utilidad de este concepto permite aplicar la Metodología del Balance de Energía del presente trabajo, con un nivel de desagregación que sea realmente representativo de los consumos energéticos.

Un punto esencial en este trabajo radica en decidir el grado de detalle con el que sería conveniente obtener el consumo de energía. Los dos casos serían:

- Por un lado, consultar la factura empresarial de energía.
- Por el otro lado, realizar un estudio minucioso de los flujos de energía dentro de la planta, esto es, equipo por equipo.

En el primer caso, se obtendrían resultados sumamente agregados y por ello de escasa utilidad, mientras que en el segundo, el grado de detalle llevaría a una imposibilidad práctica.

Uno de los mecanismos que permite establecer una metodología de desagregación aplicable a los procesos de cualquier planta y que logra un equilibrio entre los puntos descritos es el concepto de unidad productiva.

Unidad productiva (UP): Es una agrupación de maquinaria y equipo dentro de una línea de proceso, que cumple cuando menos con una de las siguientes condiciones:

1.- Cuando dentro de una línea de proceso se elabora un producto o variante del mismo que puede o no encontrarse en el mercado. (Ese mismo producto puede ser consumido como materia prima por otras unidades de la misma planta para la elaboración de otro u otros productos).

2.- Cuando en una etapa del proceso se obtengan varias corrientes y al menos una de ellas reciba un tratamiento físico y/o químico diferente.

3.- Cuando existan equipos cuyos consumos de energía sean intensivos y cada uno de ellos constituya una línea paralela al proceso que implique el mismo tratamiento físico y/o químico.

4.- Cuando en una planta se elaboren las materias primas para un proceso principal, a todo el conjunto de equipo y maquinaria se le considerará una unidad productiva.

Es importante mencionar que si existen dos o más unidades productivas que fabriquen un mismo producto a través de un mismo proceso, a cada una de ellas se considerará por separado, en el caso de que existan dos o más procesos de fabrica-

ción de un mismo producto. se analizará por separado cada una de ellas para la aplicación del concepto de unidad productiva.

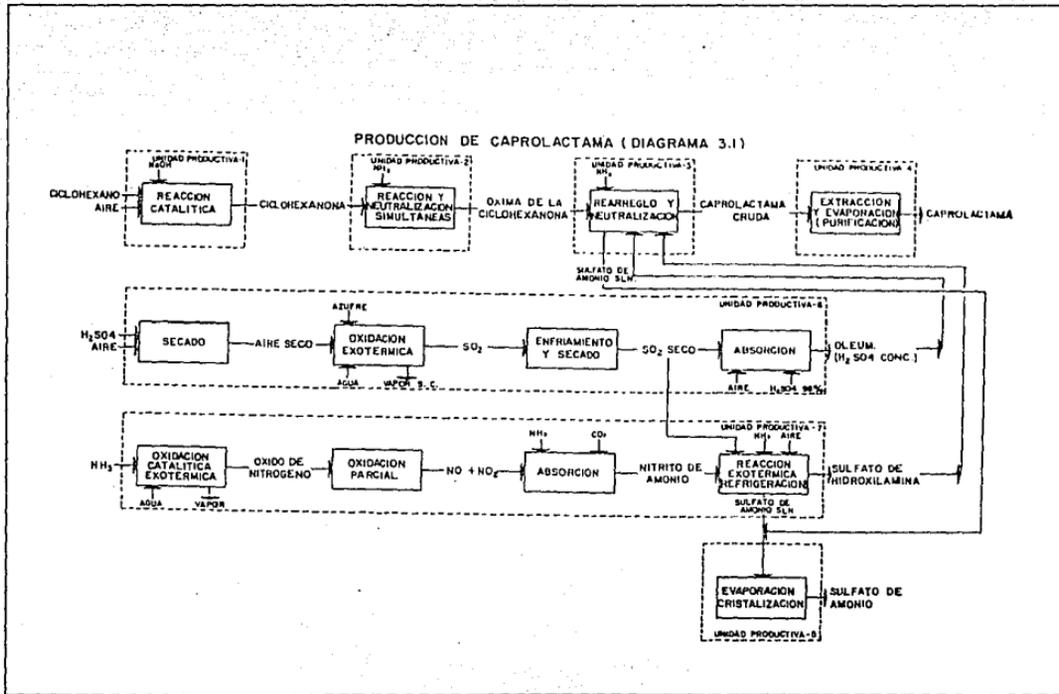
Esta desagregación es muy útil para un nivel intermedio de balance energético, pues representa segmentos de una planta o instalación sin llegar a un nivel de cada equipo. Para aclarar este concepto se presentarán algunos diagramas en donde se aplica el concepto antes mencionado.

## PROCESO DE PRODUCCION DE CAPROLACTAMA.

En el proceso de producción de caprolactama (Diagrama 3.1) a partir de ciclohexano se consideran siete unidades productivas de acuerdo con el concepto que las define.

Las unidades productivas 1, 2, 3 y 4 se establecen por la condición número 1, ya que en cada una de ellas se elabora un producto principal: Ciclohexanona, Oxima de la ciclohexanona, Caprolactama cruda y Caprolactama respectivamente. Los productos obtenidos de las unidades 1, 2 y 3 son intermedios en el proceso total y sirven como materia prima a otra unidad productiva. La unidad productiva número 5 se origina de acuerdo con la condición número 2, en donde se da un tratamiento físico a la corriente del producto ligado proveniente de las unidades productivas 3 y 7. Las unidades productivas 6 y 7 elaboran materias primas para el proceso global, por lo que se considera una unidad productiva al conjunto de equipos que constituyen cada una de ellas.

En la unidad productiva número 6 se produce óleum como producto principal y como producto ligado el Bióxido de azufre, necesario como materia prima en la unidad productiva 7.



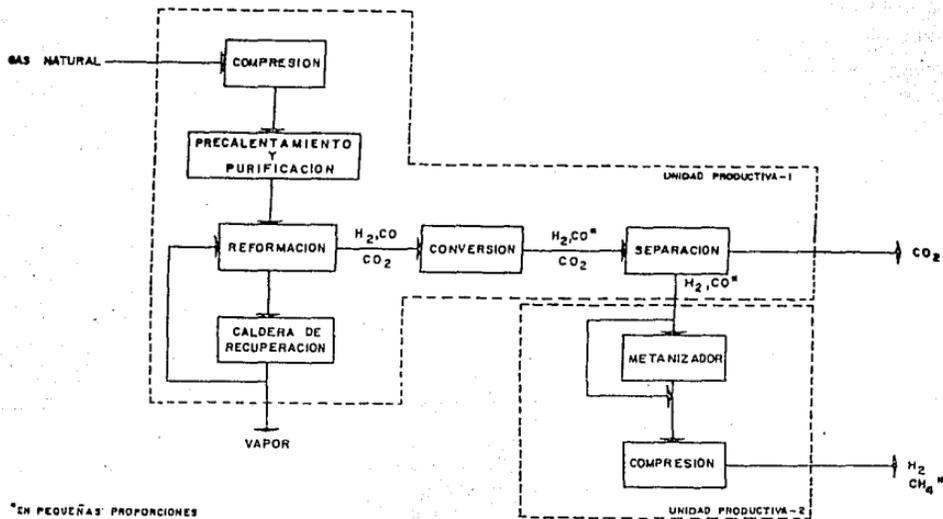
## PLANTA GENERADORA DE HIDROGENO.

En una planta generadora de hidrógeno, de acuerdo con sus características, se encuentran dos unidades productivas (Diagrama 3.2):

La unidad productiva número 1 se identifica aplicando la condición número 1, pues se elabora como producto principal el hidrógeno y como producto ligado el bióxido de carbono.

Para la definición de la unidad productiva número 2, se empleó la condición 2, pues las dos corrientes de salida de la unidad productiva 1, reciben un tratamiento diferente.

PLANTA GENERADORA DE HIDROGENO (DIAGRAMA 3.2)



## PROCESO DE PRODUCCION DE CEMENTO.

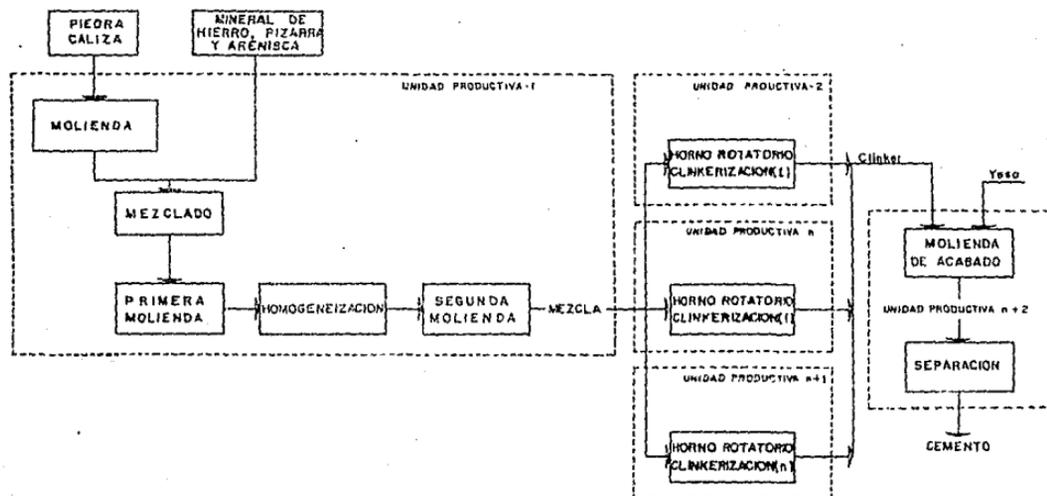
En una planta productora de cemento (Diagrama 3.3), es útil aplicar la tercera condición señalada cuando se define la unidad productiva.

En toda planta productora de cemento, se encuentra una unidad productiva por cada horno rotatorio (n). Otra unidad que abarca todos los procesos previos a los mismos -- (Hornos) y una para la elaboración del producto final; esto es, que el número total de unidades productivas será el de los hornos más dos (n+2).

La separación de cada horno como una unidad productiva obedece a que en ellos se lleva a cabo una sola operación, y su consumo de energía en conjunto es generalmente entre 70 y 80 % del total de la planta.

Con estos diagramas se puede apreciar el concepto de unidad productiva, y se tomaron solo a manera de ejemplo, no obstante, se trabajará con uno similar para la industria azucarera, ya que es fundamental que se tenga claro este concepto para el desarrollo del balance de energía.

PRODUCCION DE CEMENTO (DIAGRAMA 3.3)



## ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL.

Una empresa no está compuesta sólo de unidades productivas sino que también existen servicios auxiliares que son comunes a una o más de éstas. Por ello, es necesario contemplar también el uso de la energía en ésta importante parte de la industria.

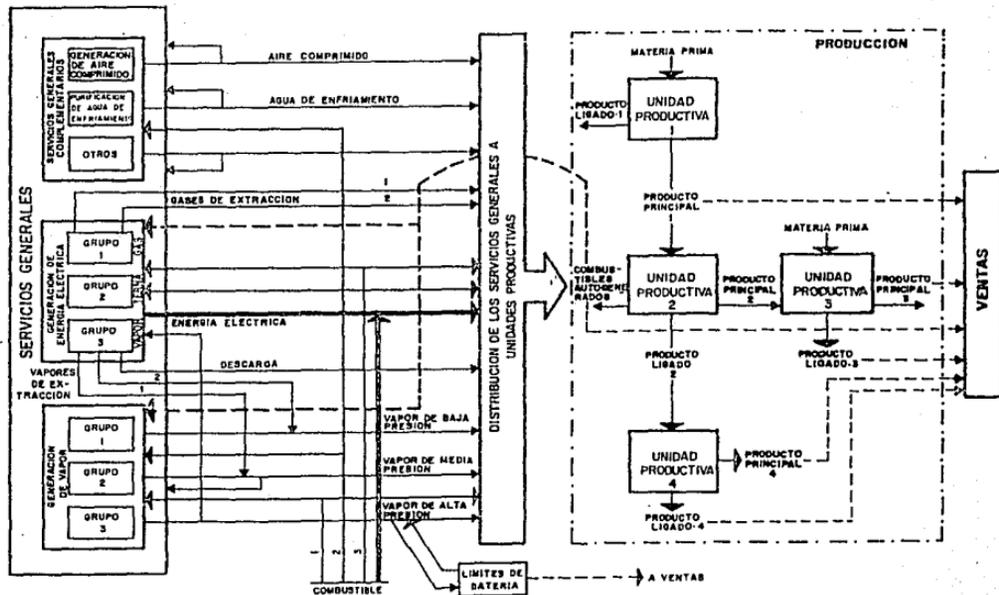
Los servicios generales son el conjunto de maquinaria y equipo que sin estar incluidos en las unidades productivas dan servicio común a éstas.

Estos servicios incluyen los generadores de vapor, los generadores de electricidad, los compresores de aire, etc. Existen también servicios generales complementarios, éstos comprenden máquinas y equipos no incluidos en los dos primeros, por ejemplo: Sistemas generales de refrigeración, sistemas de aire acondicionado, tratamiento de agua, servicios de comedor, baños y talleres.

Para la obtención de una buena información tal que cumpla con las características requeridas para alcanzar los objetivos, es importante que los conceptos de unidad productiva y servicios generales sean correctamente aplicados. De ésta manera, podemos ver que la concepción general de una planta industrial será de la forma en que lo muestra el diagrama 3.4.

( DIAGRAMA 3.4 )

### ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL



## PROCESO DE PRODUCCION DE AZUCAR ESTANDARD

En el Proceso de Producción de Azúcar Standard (Diagrama 3.5), se han considerado 7 Unidades Productivas.

En la U.P. 1 se aplica la condición número 1, obteniéndose como producto caña picada que se alimenta a la U.P. número 2.

En la U.P. 2 se aplica la condición número 2, en la que se obtiene como producto principal Guarapo y como subproducto Bagazo. En esta etapa la caña picada ha sido sometida a un cambio físico (De sólido a líquido). También se ha aplicado la condición número 3, ya que los molinos son fuertes consumidores de energía en forma de vapor.

En la U.P. 3 se aplicó la condición número 2, ya que el Guarapo es sometido a un tratamiento químico para su purificación.

En la U.P. 4 se aplica la condición número 3, ya que los evaporadores también son fuertes consumidores de energía en forma de vapor.

En las U.P.'s. 5 y 6 se aplicó la condición número 2, donde los productos que se le alimentan son sometidos a cambios físicos.

En la U.P. 7 se cumple la condición número 1, donde el producto principal elaborado y que se destina al mercado para su consumo final, es la azúcar.

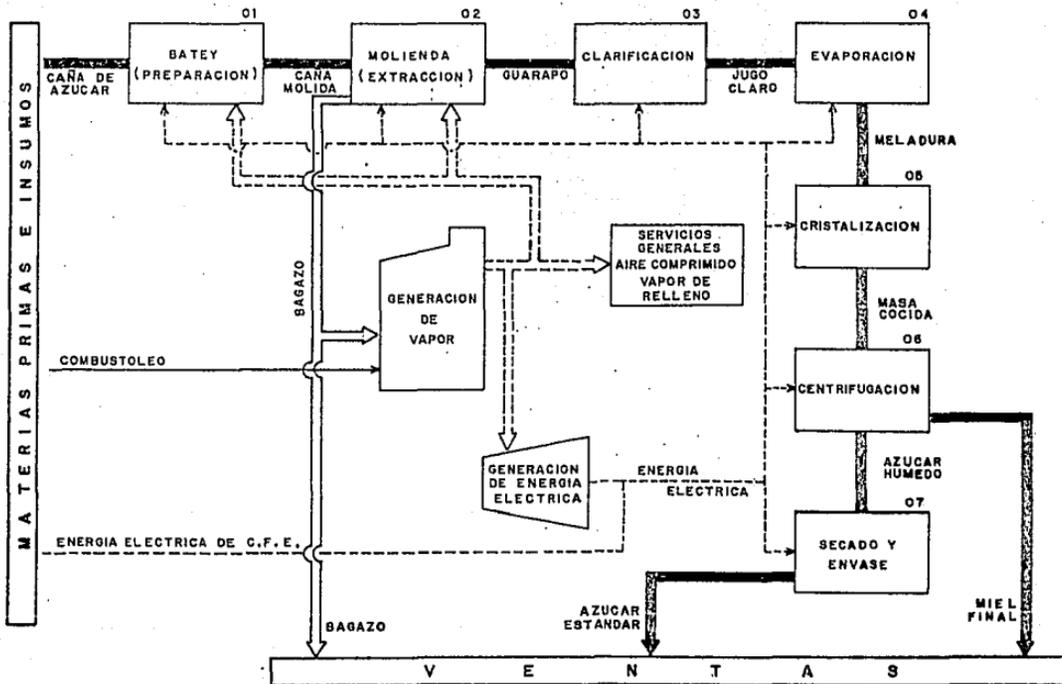


Diagrama 3.5: ELABORACION DE AZUCAR ESTANDAR  
(UNIDADES PRODUCTIVAS)

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

#### ELEMENTOS INTEGRANTES.

(Información necesaria)

1.- Datos generales. Se aplican para ubicar a la empresa así como su localización.

2.- Personal. tiempo trabajado y ventas. Su uso surge de la necesidad de conocer la magnitud y el impacto socioeconómico de la empresa.

3.- Características de la producción. Mediante la información en este punto es posible conocer el tipo de bienes que se producen ya sean principales o ligados. el volumen producido, su destino y la tecnología usada. Asimismo, con la información contenida en este punto es posible estimar el nivel de utilización de la capacidad instalada.

4.- Características. Autogeneración y Consumo de combustibles. A través del desglose de este punto es posible definir el tipo de combustible que es usado. ya sea por cada unidad productiva, por los servicios generales complementarios de la planta y totales. así como la cantidad y costos de los mismos. Por otro lado, se registra toda la información concerniente a la autogeneración de combustibles.

5.- Generación de vapor. Características y Consumo de combustibles. La información es desagregada por grupos generadores de vapor y se considera el origen y destino del mismo, de acuerdo a la Unidad Productiva.

6.- Energía Eléctrica. En éste punto se puede conocer el consumo de electricidad por unidad productiva y servicios generales, así como los combustibles usados para la generación de electricidad.

**DATOS GENERALES**

<b>1.1</b>		
NOMBRE COMPLETO DE LA RAZON SOCIAL DE LA EMPRESA: _____		
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____		
AÑO EN QUE EL ESTABLECIMIENTO INICIO OPERACIONES: _____ <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>		
ACTIVIDAD A LA QUE SE DEDICA EL ESTABLECIMIENTO: _____ <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>		
<b>UBICACION DEL ESTABLECIMIENTO</b>		
<b>1.2</b>	No EXTERIOR O KILOMETRO	No INTERIOR O LETRA
CALLE, AVENIDA, CALZADA, CARRETERA, ETC. _____		
COLONIA, SECTOR, BARRIO, ETC. _____		
CODIGO POSTAL _____		
TELEFONO _____		
ENTIDAD FEDERATIVA _____	MUNICIPIO O DELEGACION _____	LOCALIDAD _____ <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
<b>1.3</b>		
<b>DATOS DEL ESTABLECIMIENTO MATRIZ</b>		
NOMBRE COMPLETO DE LA RAZON SOCIAL DE LA MATRIZ: _____		
AÑO EN QUE LA MATRIZ INICIO SUS ACTIVIDADES: _____ <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>		
<b>UBICACION DE LA MATRIZ:</b>		
<b>1.4</b>	No EXTERIOR O KILOMETRO	No INTERIOR O LETRA
CALLE, AVENIDA, CALZADA, CARRETERA, ETC. _____		
COLONIA, SECTOR, BARRIO, ETC. _____		
CODIGO POSTAL _____		
TELEFONO _____		
<b>1.5</b>	ENTIDAD FEDERATIVA _____	MUNICIPIO O DELEGACION _____ LOCALIDAD _____ <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>



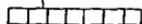
### 3 CARACTERISTICAS DE LA PRODUCCION

3.1 PRODUCTOS PRINCIPALES VOLUMEN PRODUCIDO Y CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS

--	--	--	--	--	--	--	--

UNIDAD PRODUCTIVA	OPERACION		NOMBRE DEL PRODUCTO ELABORADO	NOMBRE GENERICO DEL PROCESO UTILIZADO*	UNIDAD DE MEDIDA	VOLUMEN PRODUCIDO EN EL AÑO	CAPACIDAD NOMINAL (DE DISEÑO) DE PRODUCCION ANUAL	PRECIO DE VENTA POR UNIDAD (MILES DE PLSOS)
	AÑO INICIAL	HORAS EN EL AÑO						
01	74	3172	CARA PICADA.	BATEY.	TON.	777677	800000	
02	74	3172	JUGO MEZCLADO.	EXTRACCION.	TON	656394	675235	
03	74	3172	JUGO CLARO.	CLARIFICACION	TON	631974	650115	
04	74	3172	MELADURA.	EVAPORACION.	TON	176224	181285	
05	74	3172	MASA COCIDA.	CRISTALIZACION.	TON	159583	164164	
06	74	3172	AZUCAR CRUDA.	CENTRIFUGACION.	TON	70556	72581	
07	74	3172	AZUCAR ESTANDARD.	SECADO Y ENV.	TON	70513	72537	15.5

\* PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS ANEXAR UN DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE FLUJOS DE ENERGIA Y MATERIALES, DONDE SE ESPECIFIQUEN LAS MATERIAS PRIMAS Y LOS ENERGETICOS UTILIZADOS



3.2 PRODUCTOS LIGADOS: VOLUMEN PRODUCIDO Y CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS UNIDADES PRODUCTIVAS

UNIDAD PRODUCTIVA	NOMBRE DEL PRODUCTO ELABORADO	UNIDAD DE MEDIDA	VOLUMEN PRODUCIDO EN EL AÑO	CAPACIDAD NOMINAL (DE DISEÑO) DE PRODUCCION ANUAL	PRECIO DE VENTA POR UNIDAD (MILES DE PESOS)
.02	BAGAZO DE CARA.	TON.	93553	105378	
.06	MIEL INCRISTALIZABLE.	TON.	38112	60979	

3.3 A) ORIGEN Y DESTINO DE LOS PRODUCTOS PRINCIPALES

□ □ □ □ □ □ □ □

ORIGEN DE LA PRODUCCION DE LA UNIDAD PRODUCTIVA NUMERO	DESTINO DE LA PRODUCCION (EN PORCIENTOS) A LA UNIDAD PRODUCTIVA No. :															VENTAS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
01		100														
02			100													
03				100												
04					100											
05						100										
06							100									
07																100





ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

5.2 ORIGEN Y DESTINO DEL VAPOR (EN PORCIENTO)

ORIGEN DESTINO	DEL GRUPO GENERADOR					LIMITES DE BATERIA
	1	2	3	4	5	
A LA UNIDAD PRODUCTIVA						
01	16					
[ 1 ]						
02	32					
[ 2 ]						
[ 3 ]						
[ 4 ]						
[ 5 ]						
[ 6 ]						
07	1					
[ 7 ]						
[ 8 ]						
[ 9 ]						
[ 10 ]						
[ 11 ]						
[ 12 ]						
[ 13 ]						
[ 14 ]						
[ 15 ]						
A SERVICIOS GENERALES	15					
[ 96 ]						
A GENERACION DE ELECTRICIDAD A	36					
[ 96 ]						
A VENTAS						
[ 97 ]						

\*DEBE CORRESPONDER A LA FRACCION CON DESTINO A SERVICIOS GENERALES USADA PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

6. ENERGIA ELECTRICA. CONSUMO Y CARACTERISTICAS DE LA AUTOGENERACION

6.1 ENERGIA ELECTRICA CONSUMIDA POR UNIDAD PRODUCTIVA Y LOS SERVICIOS GENERALES

No. ASIGNADO A LA UNIDAD PRODUCTIVA	CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN KWH DURANTE EL AÑO	
[ 1 ]	1379161	
[ 2 ]	158040	
[ 3 ]	612960	
[ 4 ]	153244	
[ 5 ]	383100	
[ 6 ]	1149301	
[ 7 ]	306480	
[ 8 ]		
[ 9 ]		
[ 10 ]		
[ 11 ]		
[ 12 ]		
[ 13 ]		
[ 14 ]		
[ 15 ]		
SERVICIOS GENERALES [ 9 ]	4168362	

**6.2 CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELECTRICA (COMPRADA Y AUTOGENERADA)\***

<b>COMPRAS :</b>	
VOLUMEN (Kwh)	648540
VALOR (Miles de pesos)	
<b>AUTOGENERACION :</b>	
VOLUMEN (Kwh)	7662008
VALOR CONTABLE (Miles de pesos)	
<b>CONSUMO TOTAL :</b>	
VOLUMEN (Kwh)	8310648
VALOR (Miles de pesos)	
TARIFA SUSCRITA	_____ Kw
POTENCIA MAXIMA CONTRATADA	_____ Kw

\* INCLUYE UNIDADES PRODUCTIVAS Y SERVICIOS GENERALES.

**6.3** GENERACION DE ELECTRICIDAD CON VAPOR

TURBOGRUPO NUMERO 1

AÑO DE INICIO DE OPERACIONES	<u>74</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
POTENCIA NOMINAL (KVA de placa)	<u>1745</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DATOS DE OPERACION</b>				
HORAS DE OPERACION DURANTE EL AÑO	<u>4563</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ELECTRICIDAD GENERADA KWH	<u>7662008</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CARACTERISTICAS DEL VAPOR DE OPERACION TURBINAS</b>				
CAUDAL O GASTO (KG/H)	<u>55700</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PRESION DEL VAPOR ABSOLUTA (KG/Cm <sup>2</sup> )	<u>15.84</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TEMPERATURA DEL VAPOR (°C)	<u>263</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>PORCENTAJE DE VAPOR RECIBIDO</b>				
DEL GRUPO GENERADOR 1	<u>100</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DEL GRUPO GENERADOR 2	<u>                    </u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DEL GRUPO GENERADOR 3	<u>                    </u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DEL GRUPO GENERADOR 4	<u>                    </u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DEL GRUPO GENERADOR 5	<u>                    </u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DE LIMITES DE BATERIA	<u>                    </u>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>CARACTERISTICAS DE LOS VAPORES DE SALIDA</b>				

	EXTRACCION 1	EXTRACCION 2	EXTRACCION 3	DE DESCARGA
CAUDAL O GASTO (KG/H)	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>55700</u>
PRESION ABSOLUTA (KG/Cm <sup>2</sup> )	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>2.1</u>
TEMPERA TURA (°C)	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>                    </u>	<u>121</u>

6.4 ORIGEN Y DESTINO DEL VAPOR DE EXTRACCIÓN  
(EN PORCENTAJE)

ORIGEN		DEL TURBOGRUPO NUMERO <input type="checkbox"/>			
DESTINO	PRODUCTIVA	EXTRACCION 1	EXTRACCION 2	EXTRACCION 3	DESCARGA
	[ 1 ]				
	[ 2 ]				
	03				10
	[ 3 ]				
	04				53
	[ 4 ]				
	05				31
	[ 5 ]				
	[ 6 ]				
	07				6
	[ 7 ]				
	[ 8 ]				
	[ 9 ]				
	[ 10 ]				
	[ 11 ]				
	[ 12 ]				
	[ 13 ]				
	[ 14 ]				
	[ 15 ]				
A SERVICIOS GENERALES					
	[ 9 5 ]				
A GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA *					
	[ 9 6 ]				
A VENTAS					
	[ 9 7 ]				

\* DEBE CORRESPONDER A LA FRACCION CON DESTINO A SERVICIOS GENERALES PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

## CAPITULO IV

El objetivo de este capítulo consiste en mostrar una metodología de cálculo para la elaboración de un Balance Energético.

### COMENTARIOS SOBRE EL MARCO CONCEPTUAL

Como se mencionó en la Introducción, en este capítulo se plantea la Metodología que se desarrollará, no obstante es necesario comentar algunos puntos sobre el marco conceptual, para aplicar este método:

1. Debe establecerse y aplicarse el concepto de Unidad Productiva.
2. Debe elaborarse un diagrama del proceso del Ingenio.
3. Se considera que a las U.P. pueden fluir las siguientes formas de energía: a) energía aportada por los combustibles directamente, b) energía eléctrica, c) energía de vapor de caldera y d) energía de vapor de extracción de turbinas.

Las ecuaciones a, b, c y d (pag. 86) ejemplifican la forma de calcular el aporte energético de acuerdo al tipo de energía de que se trate.

Los factores  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , y  $\delta$ , representan cantidades de energía que son incorporadas a los servicios generales complementarios (talleres oficinas, etc.). En caso de que se tengan flujos de energía a estos servicios, el tomar en cuenta estos factores, implica que el resultado obtenido: C.T.E. (pag. 111) sea el consumo energético para el producto principal: Azúcar.

El factor de conversión ponderado (FCP) es un factor de conversión de energía calorífica a eléctrica que se calcula involucrando las eficiencias de generación dependiendo del equipo o equipos con la que se genere, de no hacerlo así, se tomaría el factor de 2860 Kcal/KWH que es un factor que implica una eficiencia de generación de energía eléctrica en una termoeléctrica convencional que no sería representativo, ya que en el Ingenio se genera la energía eléctrica con una eficiencia diferente al de las termoeléctricas. Por lo tanto, las ecuaciones y consideraciones que aparecen de las páginas 86 a 98 representan de manera global los conceptos y consideraciones que se establecen para aplicar esta metodología.

Cabe aclarar que ésta metodología es de tipo general, que contando con la información adecuada (obtenida en campo) y siguiendo los lineamientos que se marcan, puede ser aplicada a cualquier tipo de Industria, no obstante, en este caso se está aplicando a un Ingenio Azucarero.

Por otro lado es pertinente señalar que el método ha sido desarrollado en forma completa considerando que se cuenta con equipos como turbinas de gas, motores de combustión interna, etc. En el caso del presente ejercicio, no se aplicaron todas las etapas de cálculo debido a que en el ingenio en estudio no se cuenta con estos equipos.

## Marco Conceptual y Metodología de Elaboración de un Balance Energético.

### "Cálculo de Consumo de Energía por Unidad Productiva".

Tipos de energía a considerar para toda Unidad Productiva.

a) Combustibles de uso directo en U. P.

$$\left[ \sum_{i=1}^{M+} (\text{COMB}_i \times \text{PC}_i)_x + \sum_{y=1}^r \sum_{i=1}^{M+} (\text{COMB}_i \times \text{PC}_i)_y \times \varphi_{yx}^{y \neq x} \right] (1 + \alpha)$$

b) Energía Eléctrica.

$$\left[ \text{EE}_x \times \text{FCP} + \sum_{y=1}^r \text{EE}_y \times \text{FCP} \times \varphi_{yx}^{y \neq x} \right] (1 + \beta)$$

c) Vapor de Caldera.

$$\left[ \sum_{i=1}^{M+} (\text{V}_x \text{H} \times \text{RIE})_i + \sum_{y=1}^r \sum_{i=1}^{M+} (\text{V}_y \text{H} \times \text{RIE})_i \times \varphi_{yx}^{y \neq x} \right] (1 + \theta)$$

d) Vapor de Extracción.

$$\left[ \sum_{i=1}^{M+} (\text{VE}_x \text{H} \times \text{RIE})_i + \sum_{y=1}^r \sum_{i=1}^{M+} (\text{VE}_y \text{H} \times \text{RIE})_i \times \varphi_{yx}^{y \neq x} \right] (1 + \zeta)$$

Determinación de cada variable.

FCP (Factor de Conversión Ponderado). Se determina por el promedio ponderado de los cuatro tipos de energía eléctrica considerados.

a) Energía Eléctrica comprada de CFE.

$$F_{ca} = 2860 \frac{\text{Kcal comb 's}}{\text{KWH}}$$

b) Energía Eléctrica generada en turbinas de gas.

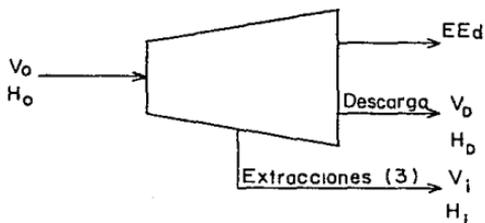
$$F_{cb} [=] \frac{\text{Kcal comb 's}}{\text{KWH}}$$

c) Energía Eléctrica originada en generadores de combustión interna.

$$F_{cc} [=] \frac{\text{Kcal comb 's}}{\text{KWH}}$$

d) Energía Eléctrica generada en turbinas de vapor.

ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UNA TURBINA



Efectuando un balance energético tenemos:

$$RD_i = \frac{V_o H_o - \left[ V_D H_D + \sum_{i=1}^3 V_i H_i \right]}{EETV_i} [=] \text{Kcal de vapor / KWH}$$

$FC_i = R_x (RIE_{prom}) = (Kcal \text{ Vapor} / KWH) (Kcal \text{ Comb} / Kcal \text{ Vapor}) =$   
 $FC_i \text{ en Kcal Comb} / KWH$

$$F_{cd} = \left[ \sum_{i=1}^n (FC_i * EETV_i) \right] + \left( \sum_{i=1}^n EETV_i \right)$$

La entalpía usada, es una entalpía denominada base 100, que se explicará posteriormente.

Finalmente FCP se determina por:

$$FCP = \frac{(EE_a * 2860) + (EE_b * F_{cb}) + (EE_c * F_{cc}) + (EE_d * F_{cd})}{EE_t} [=]$$

FCP en Kcal Comb / KWH

donde:

$$EE_t = EE_a + EE_b + EE_c + EE_d [=] KWH$$

### RIE

Se determina dividiendo el consumo de combustibles entre la entalpía absoluta (base 100) que se obtiene en el vapor, para cada grupo generador de vapor:

$$RIE_i = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Comb_i * PC_i)_{g.v.}}{MVTGV_i * H_{100i}} \right] [=] \frac{Kcal \text{ Comb's}}{Kcal \text{ Vapor}}$$

$$RIE_{prom_i} = \sum_{i=1}^n (PCVG_i * RIE_i)$$

$V_j$ , Del cuadro 5.2 se lee la fracción de vapor del grupo generador "K" que se vá a la unidad productiva  $i(\sum ik)$  y se multiplica por el vapor total producido en el grupo.

$V_k$  se lee en el cuadro 5.1 correspondiente.

$$V_j = \sum ik * V_k$$

$VE_j$ , se hace en forma semejante al anterior, sólo que la lectura es en los cuadros 6.6 y 6.7

$$VE_j = \sum E_{ik} * VE_k$$

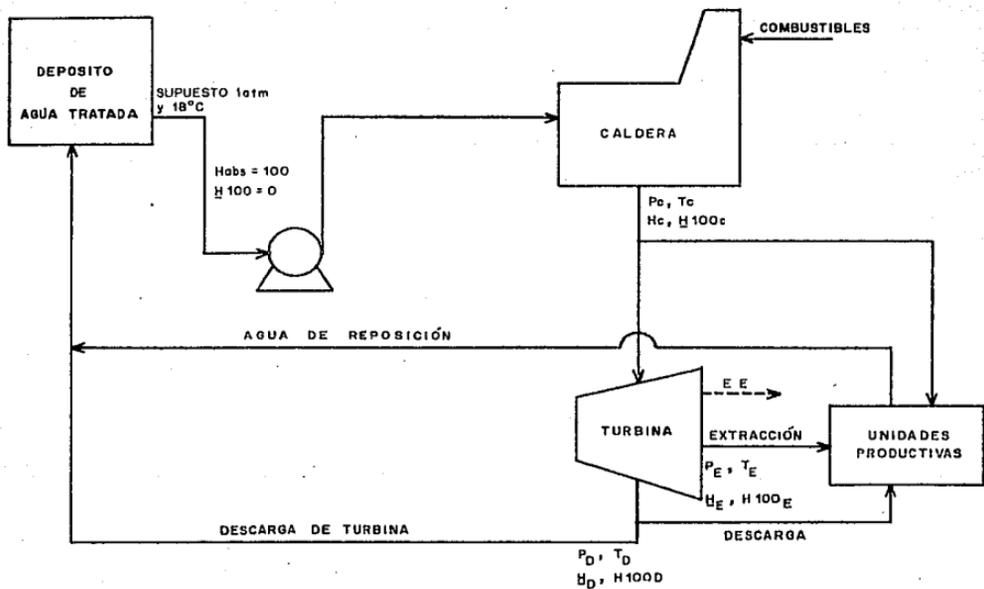
#### DIAGRAMA DEL CICLO DEL AGUA

Este diagrama es usado para ilustrar los lugares en donde se lleva a cabo el aprovechamiento del calor contenido en los diferentes tipos de vapor (vivo, extracción y descarga).

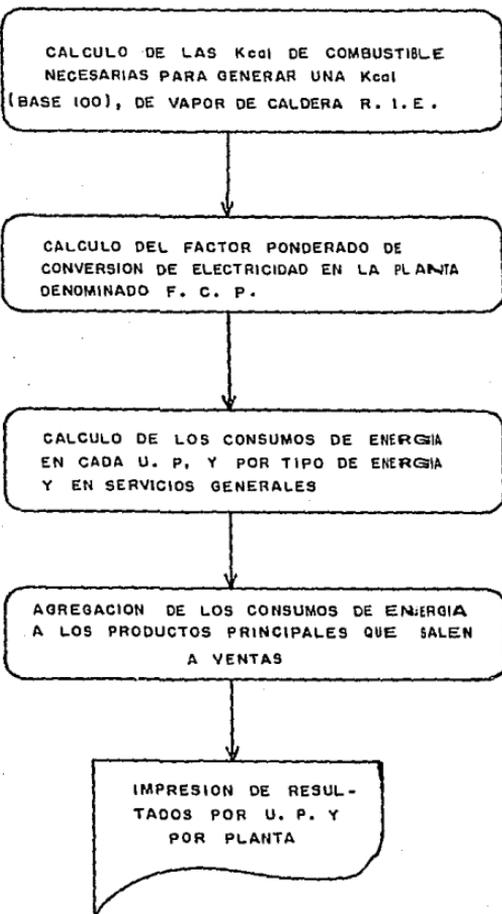
Además sirve para explicar el concepto de entalpía en base 100

$$H_{100} = H_{abs} - 100$$

DIAGRAMA DEL CICLO DEL AGUA

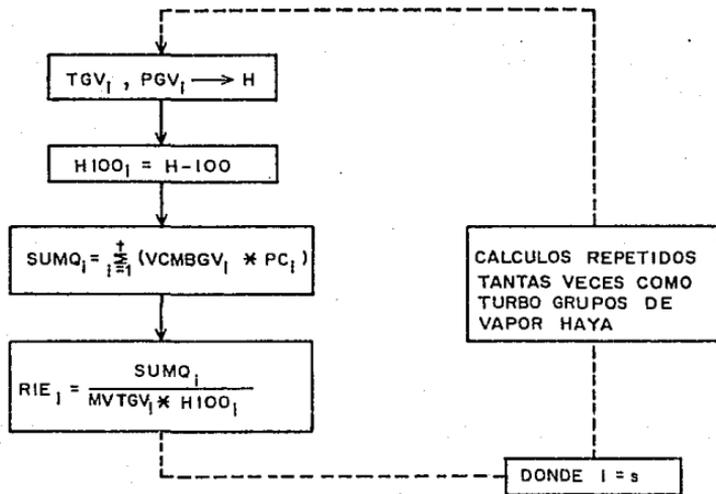


## SECUENCIA DE CALCULO EN BLOQUES

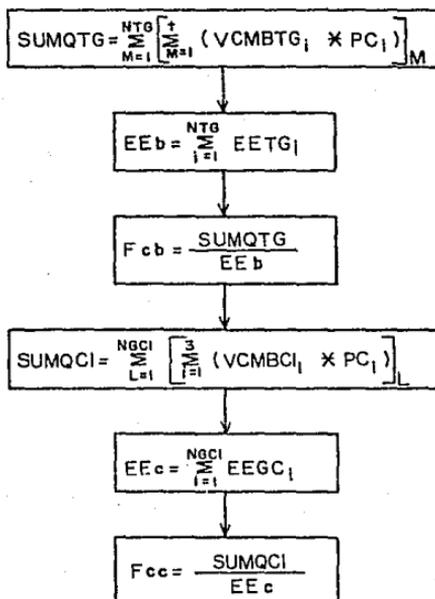


## DIAGRAMA DE FLUJO PARA CALCULO

Cálculo de la relación de intercambio energético ( R I E ) en grupos generadores de vapor.



Cálculo del factor ponderado de conversión de electricidad  
( Denominado FCP ).



$$ZHE100_i = \left[ \sum_{i=1}^M (PCVG_i \times H100_i) \right] \times MVATV_i$$

$$RIEPROM_i = \sum_{i=1}^{M_0} (PCVG_i \times RIE_i)$$

$$TE_i, PE_i \rightarrow HEX_i; \quad i=1, 4$$

$$HX100_i = HEX_i - 100 \quad i=1, 4$$

$$ZHX100_i = \sum_{i=1}^M (HX100_i \times VE_i)$$

$$RD_i = \frac{(ZHE100_i - ZHX100_i)}{EETV_i}$$

$$FC_i = RD_i \times RIEPROM_i$$

(i = 1, u)

$$EEd = \sum_{i=1}^M EETV_i$$

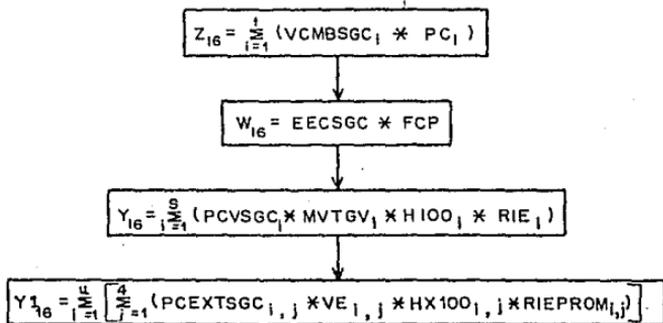
$$Fcd = \frac{\sum_{i=1}^M (FC_i \times EETV_i)}{EEd}$$

$$SUMEE = EEa + EEb + EEc + EEd$$

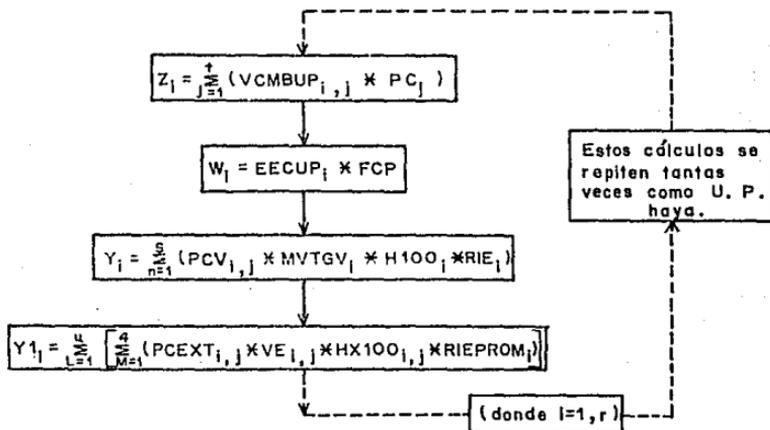
$$FCP = \frac{[EEa \times 2860] + [EEb \times Fcb] + [EEc \times Fcc] + [EEd \times Fcd]}{SUMEE}$$

Estos cálculos se repiten tantas veces como turbo-grupos haya.

-Cálculo de la energía consumida para servicios generales complementarios (16).



-Cálculo de la energía consumida en cada Unidad Productiva.



SUMATORIA POR TIPO DE ENERGIA SOLO PARA UNIDADES PRODUCTIVAS.

$$\text{SUMZ} = \sum_{i=1}^r Z_i$$

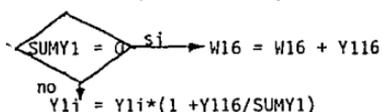
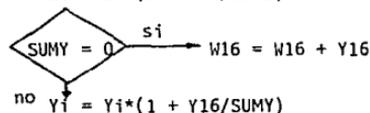
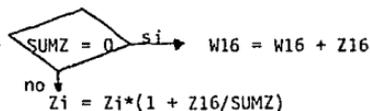
$$\text{SUMW} = \sum_{i=1}^r W_i$$

$$\text{SUMY} = \sum_{i=1}^r Y_i$$

$$\text{SUMY1} = \sum_{i=1}^r Y_{1i}$$

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE LA ENERGIA CONSUMIDA EN SERVICIOS GENERALES COMPLEMENTARIOS EN UNIDADES PRODUCTIVAS:

$$W_i = W_i * (1 + W_{16}/\text{SUMW})$$



CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR UNIDAD PRODUCTIVA:

$$X_i = Z_i + W_i + Y_i + Y_{1i}$$

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA EN LA PLANTA:

$$\text{C.T.E} = \sum_{i=1}^r X_i$$

## INDICADORES OBTENIDOS EN FORMA DIRECTA.

Este tipo de indicadores son obtenidos en forma casi directa, es necesario efectuar solamente simples sumas o relaciones entre dos conceptos, con estas relaciones se obtienen indicadores que pueden ser de gran utilidad.

Entre estos factores se encuentran los siguientes:

### (1) Consumo total de Energía.

- Volumen (Kcal) = Energía combustible + Energía eléctrica comprada.

- Valor (\$)

- Volumen / Valor (Kcal / \$)

### (2) Producción.

- Valor de la producción (\$)

- Tasa de utilización de la planta =  $\frac{\sum_1^r V_p \times P_v}{\sum_1^r C_n \times P_v} \times 100$

$$\frac{\text{Valor de la energía}}{\text{Valor de la producción}} = \frac{\text{Costo de la energía}}{\text{Costo de la producción}} \left[ \frac{\$}{\$} \right]$$

- Consumo potencial de energía (Kcal) =  $\frac{\text{Volumen energía}}{\text{Tasa de utilización}}$

### (3) Tipo de energía consumida.

- Combustibles comprados, por ejemplo; gas natural, gas licuado, combustible, etc.

- Combustibles autogenerados: bagazo, gas de coque, gas de alto horno, etc.

- Electricidad Comprada.
- Electricidad Autogenerada,

(4) Destino de la energía consumida ( Utilización ).

- Combustibles para uso directo .
- Combustibles para generar vapor .
- Vapor a unidades productivas por alimentación directa, por extracciones .
- Vapor para generar electricidad .
- Combustibles usados directamente en la generación de energía eléctrica .

Los indicadores antes mencionados son obtenidos directamente de la información captada y para poder disponer de más herramientas de análisis para cubrir nuestros objetivos, es necesario realizar un balance de la distribución del consumo de energía por unidad productiva, por producto que sale a ventas y balance total por planta .

## CAPITULO V

### EJEMPLO DE APLICACION

El objetivo de este capítulo consiste en aplicar la Metodología del Balance de Energía mostrada en el Capítulo IV, la cual está basada en la información obtenida en campo de un Ingenio Azucarero.

Con este ejemplo de aplicación, se cuantificarán los consumos energéticos de las Unidades Productivas que integran el Proceso para la obtención de Azúcar.

De acuerdo a la secuencia de cálculo de bloques mostrada en la pag. 91 se calculará primeramente la Relación de Intercambio Energético (RIE), estos es, la energía requerida para generar una Kcal de vapor. Posteriormente se evaluará el Factor de Conversión Ponderado (FCP), cuyo concepto ya fue definido anteriormente (Cap. IV).

Con base en estos conceptos se procederá a cuantificar las diferentes formas energéticas consumidas en cada una de las Unidades Productivas y su consumo total de energía en las mismas.

Finalmente, se calculará el consumo total de energía en el Ingenio Azucarero y se comprobará el resultado obtenido con un método corto.

Cabe aclarar por último que la nomenclatura de la metodología utilizada se indica en el Anexo 1.

**CALCULO DE LA RELACION DE INTERCAMBIO ENERGETICO (RIE) EN GRUPOS  
GENERADORES DE VAPOR:**

Del cuadro 5.1 (pag. 78):

Se trata de un grupo Generador de Vapor formado por 4 calderas: 3 marca Cerrey, tipo acuotubular de 45 ton. de vapor por hr. a 17.6 Kg/cm cuadrado y 263 grad. C., equipadas con un ventilador para tiro forzado de 250 HP, 1175 RPM., y un ventilador para tiro inducido de 250 HP y 860 RPM, 2 quemadores de combustoleo. Cada caldera con su chimenea autosoporable de 30.5 mt de altura y 2.13 mt de diámetro. Una caldera Bigelow-Fymisa, tipo KVS-34SP, de 45.4 ton/hr de vapor a 17.6 Kg/cm cuad. y 263 grad. C., equipada con 2 ventiladores para tiro forzado de 50 HP y 1175 RPM, un ventilador de tiro inducido de 300 HP a 860 RPM; cuatro quemadores de combustoleo y cuatro para quemar bagazo de 9630 ft cub. Las calderas estan diseñadas para quemar combustoleo y bagazo con un 51% de humedad.

Del cuadro 5.1:

$$TGV_i = 263 \text{ grad. C} = 505.4 \text{ grad. F.}$$

$$PGV_i = 15.8 \text{ Kg/cm cuad.} = 224.75 \text{ lb/in cuad.}$$

por lo tanto:

$$H = 1266.9 \text{ BTU/lb} = 703.89 \text{ Kcal/Kg}$$

$$H_{100i} = 703.89 - 100 = 603.89 \text{ Kcal/Kg} \quad (\text{pag. } \quad )$$

$$SUMQ_i = \sum_{i=1}^n (VCMBGV_i * PCI)$$

Del cuadro 1.5 y del anexo 2:

$$VCMBGV_i = 9620 \text{ mt cub de combustoleo}$$

$$PCI = 10.019 * 10^{*6} \text{ Kcal/mt cub.}$$

VCMBGV2 = 284863 ton de bagazo

PC2 = 1684990 Kcal/ton

De aquí que:

$$\text{SUMQi} = \frac{1}{1.4}, (\text{VCMBGV1} * \text{PC1} + \text{VCMBGV2} * \text{PC2})$$

substituyendo:

$$\begin{aligned} \text{SUMQi} &= (9620 \text{ mt cub} * 10.019 * 10^{**6} + 284863 \text{ ton} * 1684990) = \\ &= 5.764 * 10^{**11} \text{ Kcal de combustible.} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la Relación de Intercambio Energético (RIE) será:

$$\text{RIE} = \frac{\text{SUMQi}}{\text{MVTGV1} * \text{H1001}}$$

Del cuadro 5.1:

$$\text{MVTGV1} = 705189 \text{ ton} = 705.189 * 10^{**3} \text{ Kg de vapor}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{RIE} &= \frac{5.764 * 10^{**11} \text{ Kcal de combustible}}{705189 * 10^{**3} \text{ Kg de vapor} * 603.89 \text{ Kcal/Kg}} = \\ &= 1.353 \text{ Kcal de combustible/Kcal de vapor} \end{aligned}$$

CALCULO DEL FACTOR DE CONVERSION PONDERADO DE ELECTRICIDAD EN TURBOGRUPOS (FCP) (pag. 93).

La planta eléctrica consta de 4 turbogeneradores: 3 marca Worthington de 1500 KW, 8 etapas, integrado cada uno de ellos por generador General Electric de 1745 KVA, 4160 volts, reductor y turbina de vapor Worthington a 5000 RPM, y un turbogenerador Shinko de las mismas características que los tres anteriores. El vapor vivo es de 15.84 Kg/cm. cuad., 263 grad. C. y vapor de escape a 1.05 Kg/cm cuad. Las unidades

están dotadas de dispositivos de seguridad y tableros de distribución general marca General Electric.

$$FCP = \frac{(EEa * Fca) + (EEb * Fcb) + (EEc * Fcc) + (EEd * Fcd)}{SUMEE}$$

Donde:

EEa = 648640 KWH (ver cuadro 6.2)

Fca = 2860 Kcal de combustible/KWH (anexo 2)

EEb = 0 (ya que no se cuenta con turbinas de gas)

EEc = 0 (ya que no existen generadores de Combustión Interna)

EEd = 7662008 KWH (ver cuadro 6.2)

Para el cálculo de Fcd se sigue la secuencia que establece la metodología (pag. 14), es decir:

$$ZHE100i = \left( \frac{Z}{100} \right) (PCVGi * H100i) * MVATVi$$

Puesto que el porcentaje del vapor generado que recibe el turbogruppo No. 1 del grupo generador de vapor No. 1 es el 36% (cuadro 5.2), por lo tanto:

$$PCVGi = 0.36$$

$$H100i = 603.89 \text{ Kcal/Kg}$$

$$MVATVi = 705189 * 10^{*3} \text{ Kg (cuadro 5.1)}$$

$$\begin{aligned} ZHE100 &= (0.36 * 603.89 \text{ Kcal/Kg})(705189000 \text{ Kg}) = \\ &= 1.533 * 10^{*11} \text{ Kcal} \end{aligned}$$

Debido a que nada más se cuenta con un generador de vapor se establece que:

$$RIEPROMi = RIEi$$

De aquí que:

$$RIEPROMi = 1.353 \text{ Kcal de combustible/Kcal de vapor}$$

Calculo de la entalpia de extracción: HEXi

Del cuadro 6.3 se tiene para la descarga:

PEi = 2.11 Kg/cm cuadr. = 30 lb/in cuadr.

TEi = 121.12 grad. C = 250 grad. F

por lo tanto:

HEX = 1164.1 btu/lb = 646.77 Kcal/Kg

De aqui que la entalpia base 100 del vapor de extracción (HX100i) será:

HX100 = HEX - 100 = 646.77 Kcal/Kg - 100 = 546.77 Kcal/Kg

La energia calorifica de la descarga para el turbogrupo es:

$ZHX100i = \sum_{i=1}^n (HX100i * VEi)$

Donde:

VEi = 55700 Kg/hr (ver cuadro 6.3)

para las horas de operación del turbogrupo se tiene:

VEi = 55700 Kg/hr \* 4563 hr = 254159100 Kg.

$ZHX100i = (546.77 \text{ Kcal/Kg} * 254159100 \text{ Kg}) =$   
 $= 1.389 * 10^{11} \text{ Kcal}$

La relación de intercambio energético en la turbina de vapor está dada por:

$RD_i = \frac{(ZHE100i - ZHX100i)}{EETVi}$

Donde:

EETVi = 7662008 KWH (ver cuadro 6.3)

Por lo tanto:

$RD_i = \frac{1.533 * 10^{11} \text{ Kcal} - 1.389 * 10^{11} \text{ Kcal}}{7662008 \text{ KWH}} =$   
 $= 1879.4 \text{ Kcal de vapor/KWH}$

El factor de conversión para el turbogruppo i (FCi), será:

$$FCi = RD1 \cdot RIEPRomi$$

$$FCi = 1879.4 \text{ Kcal de vap/KWH} \cdot 1.353 \text{ Kcal de comb/Kcal de vap}$$

$$FCi = 2542.82 \text{ Kcal de comb/KWH}$$

$$EEd = \sum_{i=1}^n EETVi$$

$$EEd = 7662008 \text{ KWH} = EETVi$$

De aquí que:

$$Fcd = \frac{\sum_{i=1}^n (FCi \cdot EETVi)}{EEd}$$

$$\begin{aligned} Fcd &= \frac{(2542.82 \text{ Kcal de comb/KWH} \cdot 7662008 \text{ KWH})}{7662008 \text{ KWH}} = \\ &= 2542.82 \text{ Kcal de comb/KWH} \end{aligned}$$

$$SUMEE = EEa + EEb + EEc + EEd$$

donde:

$$EEa = 648640 \text{ KWH (cuadro 6.2)}$$

$$EEb = 0$$

$$EEc = 0$$

$$EEd = 7662008 \text{ KWH (cuadro 6.2)}$$

Por lo tanto:

$$SUMEE = 648640 \text{ KWH} + 7662008 \text{ KWH} = 8310648 \text{ KWH}$$

Por lo que el factor de conversión ponderado (FCP) será:

$$FCP = \frac{(EEa \cdot Fca) + (EEb \cdot Fcb) + (EEc \cdot Fcc) + (EEd \cdot Fcd)}{SUMEE}$$

donde:

$$Fca = 2860 \text{ Kcal de combustible/KWH}$$

$$Fcd = 2542.82 \text{ Kcal de combustible/KWH}$$

Por lo tanto:

$$\text{FCP} = \frac{(648640 * 2860) + (7662008 * 2542.82)}{8310648} =$$

$$= 2567.57 \text{ Kcal de comb/KWH}$$

CALCULO DE LA ENERGIA CONSUMIDA PARA SERVICIOS GENERALES  
COMPLEMENTARIOS: Z16, W16, Y16, Y1 16. (pag. 95).

$$Z16 = \sum_{i=1}^n (\text{VCMBSGCi} * \text{PCI})$$

donde:

VCMBSGCi = volumen de combustible usado en servicios  
generales complementarios (mt cub).

PCI = Poder calorifico del combustible

Z16 = 0 (puesto que no se consumen combustibles en servicios  
generales).

$$W16 = \text{EECSGC} * \text{FCP}$$

donde:

EECSGC = energia eléctrica consumida en servicios generales  
= 4168362 KWH (cuadro 6.1)

$$\text{FCP} = 2567.57 \text{ Kcal de comb/KWH}$$

$$W16 = 4168362 \text{ KWH} * 2567.57 \text{ Kcal de comb/KWH} =$$
$$= 1.07025 * 10^{10} \text{ KWH}$$

$$Y16 = \sum_{i=1}^n (\text{PCVSGCi} * \text{MVTGVi} * \text{H100i} * \text{RIE})$$

donde:

PCVSGCi = 15% (cuadro 5.2)

MVTGVi = 154545 Kg/hr = 705189 ton (cuadro 5.1)

H100i = 603.89 Kcal/Kg

RIEi = 1.353 Kcal de comb/Kcal de vapor

sustituyendo:

$$Y_{16} = (0.15 * 705189 * 10^{**3} * 603.89 * 1.353) =$$
$$= 8.6427 * 10^{**10} \text{ Kcal.}$$

$$Y_{i 16} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n (PCEXTSGC_{i,j} * VE_{i,j} * HX100_{i,j} * RIEPROM_{i,j}) \right)$$

= 0 (puesto que no se alimenta nada del vapor de descarga de la turbina a servicios generales complementarios.

CALCULO DE LA ENERGIA CONSUMIDA EN CADA UNIDAD PRODUCTIVA:

Z<sub>i</sub>, W<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Y<sub>ii</sub> (pag. 95).

$$Z_i = \sum_{j=1}^m (VCMBU_{P_{i,j}} * PC_j) = 0 \text{ (puesto que no se consumen combustibles en Unidades Productivas).}$$

W<sub>i</sub> = EECU<sub>P<sub>i</sub></sub> \* FCP (pag. 95)

donde:

EECU<sub>P<sub>i</sub></sub> = energia eléctrica consumida en la Unidad Productiva i (cuadro 6.1).

$$W_1 = 1379161 * 2567.57 = 3.54109 * 10^{**9} \text{ Kcal}$$

$$W_2 = 158040 * 2567.57 = 4.05778 * 10^{**8} \text{ Kcal}$$

$$W_3 = 612960 * 2567.57 = 1.57381 * 10^{**9} \text{ Kcal}$$

$$W_4 = 153244 * 2567.57 = 3.93464 * 10^{**8} \text{ Kcal}$$

$$W_5 = 383100 * 2567.57 = 9.83636 * 10^{**8} \text{ Kcal}$$

$$W_6 = 1149301 * 2567.57 = 2.95091 * 10^{**9} \text{ Kcal}$$

$$W_7 = 306480 * 2567.57 = 7.86908 * 10^{**8} \text{ Kcal}$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^m (PCV_{i,j} * MVTGV_i * H100_i * RIE_i) \text{ (pag. 95)}$$

donde:

PCV<sub>i,j</sub> = porcentaje del vapor del grupo generador de vapor j que se consume en la UP i (cuadro 5.2)

MVTGVi = masa del vapor total generada por el grupo generador  
de vapor i en Kg (cuadro 5.1)

H100i = 603.89 Kcal/Kg (va calculada)

RIEi = 1.353 Kcal de comb/Kcal de vapor (ya calculada)  
de aqui que:

$$Y1 = 0.16 \cdot 705189 \cdot 10^{*3} \cdot 1.353 \cdot 603.89 = \\ = 9.21984 \cdot 10^{*10} \text{ Kcal}$$

$$Y2 = 0.32 \cdot 705189 \cdot 10^{*3} \cdot 1.353 \cdot 603.89 = \\ = 1.84378 \cdot 10^{*11} \text{ Kcal}$$

$$Y7 = 0.01 \cdot 705189 \cdot 10^{*3} \cdot 1.353 \cdot 603.89 = \\ = 5.76183 \cdot 10^{*9} \text{ Kcal}$$

$$Y_{ii} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m (\text{PCEXT}_{i,j} \cdot \text{VE}_{i,j} \cdot \text{HX}_{100i,j} \cdot \text{RIE}_{\text{PROMi}}) \right) \text{ (pag.95)}$$

donde:

PCEXT<sub>i,j</sub> = porcentaje de la extracción j del turbogruppo i que  
se consume en UP (cuadro 6.4).

VE<sub>i,j</sub> = masa de vapor de la extracción j del turbogruppo i  
= 2.54 · 10<sup>\*8</sup> Kg.

HX<sub>100i,j</sub> = entalpia base 100 del vapor de extracción i

RIE<sub>PROMi</sub> = 1.353 Kcal de comb/Kcal de vapor

Del cuadro 6.3 se tiene:

PE<sub>i</sub> = 2.11 Kg/cm cuad. = 30 lb/in cuad.

FE<sub>i</sub> = 121.12 grad C = 250 grad F

de aqui que: HEX<sub>i</sub> 646.77 Kcal/Kg

por lo tanto:

HX<sub>100i</sub> = HEX<sub>i</sub> - 100 = 646.77 - 100 = 546.77 Kcal/Kg

de aqui que Y<sub>ii</sub> será:

$$Y1 \ 3 = 0.1 \cdot 2.54 \cdot 10^{*8} \cdot 546.77 \cdot 1.353 = \\ = 1.879 \cdot 10^{*10} \text{ Kcal.}$$

$$Y1\ 4 = 0.53 * 2.54 * 10^{**}8 * 546.77 * 1.353 =$$

$$= 9.958 * 10^{**}10 \text{ Kcal}$$

$$Y1\ 5 = 0.31 * 2.54 * 10^{**}8 * 546.77 * 1.353 =$$

$$= 5.825 * 10^{**}10 \text{ Kcal}$$

$$Y1\ 7 = 0.06 * 2.54 * 10^{**}8 * 546.77 * 1.353 =$$

$$= 1.127 * 10^{**}10 \text{ Kcal.}$$

#### SUMATORIA POR TIPO DE ENERGIA PARA UNIDADES PRODUCTIVAS

(pag. 96)

La sumatoria de combustibles de uso directo es:

$$SUMZ = \sum_{i=1}^r Z_i$$

puesto que  $Z_i = 0$ , por lo tanto:  $SUMZ = 0$

La sumatoria de energía eléctrica generada es:

$$SUMW = \sum_{i=1}^r W_i$$

$$SUMW = 1.06356 * 10^{**}10 \text{ Kcal}$$

La sumatoria de vapor de caldera es:

$$SUMY = \sum_{i=1}^r Y_i$$

$$SUMY = 2.82338 * 10^{**}11 \text{ Kcal}$$

La sumatoria del vapor de extracción es:

$$SUMY1 = \sum_{i=1}^r Y_{1i}$$

$$SUMY1 = 1.8789 * 10^{**}11 \text{ Kcal}$$

#### CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE ENERGIA CONSUMIDA EN SERVICIOS GENERALES COMPLEMENTARIOS EN LAS UNIDADES PRODUCTIVAS. (p.96)

La energía eléctrica consumida en la U.P. i será:

$$W_i = W_i * (1 + W_{16}/SUMW) \quad (\text{pag. 96})$$

$$W1 = 3.54109 * 10^{**9} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 7.105 * 10^{**9} \text{ KWH}$$

$$W2 = 4.05778 * 10^{**8} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 8.141 * 10^{**8} \text{ KWH}$$

$$W3 = 1.57381 * 10^{**9} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 3.158 * 10^{**9} \text{ KWH}$$

$$W4 = 3.93464 * 10^{**8} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 7.859 * 10^{**8} \text{ KWH}$$

$$W5 = 9.83636 * 10^{**8} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 1.974 * 10^{**8} \text{ KWH}$$

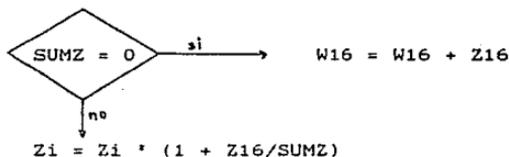
$$W6 = 2.95091 * 10^{**9} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

$$= 5.920 * 10^{**9} \text{ KWH}$$

$$W7 = 7.86908 * 10^{**8} (1 + 1.07027*10^{**10}/1.06356 * 10^{**10}) =$$

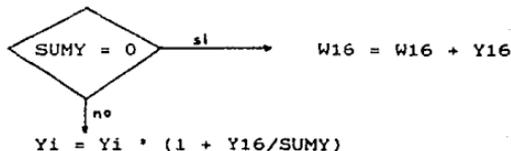
$$= 1.579 * 10^{**9} \text{ KWH}$$

La energía de combustible de uso directo en la U.P. i es:



$$W16 = 1.07025 * 10^{**10} + 0 = 1.07025 * 10^{**10}$$

La energía de vapor de caldera consumida en la U.P.i es:



$$Y1 = 9.21948 \cdot 10^{10} \cdot (1 + 8.6427 \cdot 10^{10} / 2.82338 \cdot 10^{11}) =$$

$$= 1.20421 \cdot 10^{11} \text{ Kcal}$$

$$Y2 = 1.84378 \cdot 10^{11} \cdot (1 + 8.6427 \cdot 10^{10} / 2.82338 \cdot 10^{11}) =$$

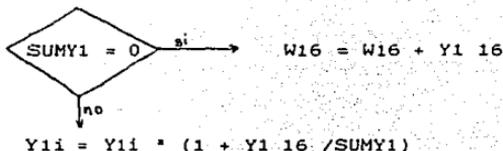
$$= 2.40818 \cdot 10^{11} \text{ Kcal}$$

$$Y7 = 5.76183 \cdot 10^9 \cdot (1 + 8.6427 \cdot 10^{10} / 2.82338 \cdot 10^{11}) =$$

$$= 7.52559 \cdot 10^9 \text{ Kcal}$$

La energía del vapor de extracción que se consume en la U.P.

i es:



$$Y1 3 = 1.789 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

$$Y1 4 = 9.958 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

$$Y1 5 = 5.825 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

$$Y1 7 = 1.127 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

El consumo total de energía para la U.P. i será:

$$Xi = Zi + Wi + Yi + Y1i \quad (\text{pag. 96})$$

$$X1 = 7.105 \cdot 10^9 + 1.204 \cdot 10^{11} = 1.275 \cdot 10^{11} \text{ Kcal}$$

$$X2 = 6.141 \cdot 10^8 + 2.408 \cdot 10^{11} = 2.416 \cdot 10^{11} \text{ Kcal}$$

$$X3 = 3.158 \cdot 10^9 + 1.879 \cdot 10^{10} = 2.1948 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

$$X4 = 7.895 \cdot 10^8 + 9.958 \cdot 10^{10} = 1.003 \cdot 10^{11} \text{ Kcal}$$

$$X5 = 1.974 \cdot 10^8 + 5.825 \cdot 10^{10} = 5.844 \cdot 10^{10} \text{ Kcal}$$

$$X6 = 5.920 \cdot 10^9$$

$$X7 = 1.579 \cdot 10^9 + 7.525 \cdot 10^9 + 1.127 \cdot 10^{10} =$$

$$= 2.0374 \cdot 10^{10} \text{ Kcal.}$$

De aqui que el consumo total de energia en el Ingenio será:

$$C.T.E. = \sum_{i=1}^n X_i$$

$$= 5.761 * 10^{11} \text{ Kcal}$$

Una manera de comprobar los resultados obtenidos por la metodología planteada será el considerar las cargas que se insumen al Ingenio (combustibles) multiplicadas por su poder calorifico respectivo, es decir:

$$C.T.E. = (9620 \text{ mt cub} * 10.010 * 10^6 \text{ Kcal/mt cub}) + \\ (284863 \text{ ton} * 1684990 \text{ Kcal/ton}) =$$

$$C.T.E. = 5.763 * 10^{11} \text{ Kcal}$$

Se concluye por lo tanto que los resultados de la Metodologia son satisfactorios.

## CONCLUSIONES

El balance de energía que se ha presentado, es una metodología de tipo general, que puede aplicarse a cualquier tipo de industria, con el fin de que se cuente con una herramienta de análisis que permita establecer un diagnóstico del consumo energético y que éste sea un punto de referencia para la optimización del proceso.

La confiabilidad de éste método estará en función de la veracidad de la información que se obtenga en campo, ya que esto nos permitirá que al efectuar el balance se evite el hacer estimaciones erróneas que nos podrían llevar a resultados no muy confiables. Para tales efectos es necesario contar con la instrumentación adecuada que nos permita cuantificar variables tan importantes como son: Presión, Temperatura, Flujo, etc.

Un aspecto importante que refleja ésta metodología es la precisión de los resultados obtenidos, ya que con base al ejemplo efectuado el consumo total de energía determinado a través de ésta metodología y comparado con el método de comprobación el resultado es bastante aceptable.

Otro de los beneficios que presenta ésta metodología es la utilidad que puede representar para una planta o unidad industrial, ya que en base a su uso se pueden establecer los registros históricos del consumo energético y por ende se puede tener presente la eficiencia con la cual se opera, ya sea a nivel global o de una manera más desagregada en base al concepto de Unidad Productiva.

En resumen, éste balance energético es una herramienta importante que puede ayudar a establecer un diagnóstico sobre COMO, CUANTA, y en DONDE se consume la energía en un proceso del tipo industrial. Una vez fijado este parámetro se podrá establecer un potencial de ahorro energético o meta a alcanzar, con objeto de optimizar las fuentes energéticas de que se disponen, siempre y cuando se tengan los recursos humanos y materiales para tal fin.

## ANEXO I

En este rubro se define la nomenclatura utilizada en la Metodología del Balance de Energía.

- COMBi - Volumen de combustibles usados directamente en la unidad productiva i (mt cub.).
- EEa - Energía eléctrica comprada (KWH).
- EEb - Energía eléctrica total generada por la turbina de gas i (KWH).
- EEc - Energía eléctrica total generada en los generadores de combustión interna (KWH).
- EEd - Energía eléctrica total generada en los turbogrupos (KWH).
- EEt - Energía eléctrica total (KWH).
- EEx - Energía eléctrica que se envía o se consume en la UP x.
- EEy - Energía eléctrica que se envía o se consume en la UP y.
- EECUPI - Energía eléctrica consumida en la unidad productiva i (KWH).
- EECSGC - Energía eléctrica consumida en servicios generales complementarios (KWH).
- EEGCi - Energía eléctrica generada en los generadores de combustión interna (KWH).
- EETGi - Energía eléctrica generada por la turbina de gas i (KWH).

EETVi	- Energía eléctrica generada en el turbogruppo i (KWH).
Fca	- Factor de conversión de energía eléctrica a energía calorífica.
Fcb	- Factor de conversión para turbinas de gas (KWH)
Fcc	- Factor de conversión para los generadores de combustión interna.
Fcd	- Factor de conversión para los turbogrupos (Kcal/KWH).
Fci	- Factor de conversión para el turbogruppo i (Kcal/KWH).
FCP	- Factor de conversión ponderado (Kcal/KWH).
H	- Entalpia (Kcal/Kg).
Hd	- Entalpia de descarga del vapor de la turbina de vapor (Kcal/Kg).
Ho	- Entalpia de vapor de entrada a la turbina de vapor (Kcal/Kg).
HEXi	- Entalpia de vapor de extracción i (Kcal/Kg).
Hi00i	- Entalpia base 100 del vapor en el grupo generador de vapor i (Kcal/Kg).
HXi00i	- Entalpia base 100 del vapor de extracción i (Kcal/Kg).

MVATVi	- Masa de vapor total suministrado a la turbina de vapor i (Kg).
MVTGVi	- Masa del vapor total generado por el grupo generador de vapor i (Kg).
NGCi	- Número de generadores de combustión -- interna.
NTG	- Número de turbinas de gas.
PCi	- Poder calorífico del combustible i -- (Kcal/Kg).
PEi	- Presión del vapor de la extracción i - (Kg/cm cuadr).
PCVi,j	- Porcentaje del vapor del grupo generador de vapor j consumido en la unidad productiva i.
PCEXTi,j	- Porcentaje de la extracción j del turbogruppo i consumido en una U.P.
PCEXTSGCi,j	- Porcentaje de la extracción j del turbogruppo i que se consume en S.G.C.
PCVSGCi	- Porcentaje del vapor del grupo generador de vapor i consumido en SGC.
PCVGi	- Porcentaje consumido del vapor generado en el grupo generador de vapor i.
PGVi	- Presión del vapor en el grupo generador de vapor i (Kg/cm cuadr.)
r	- Número de unidades productivas.
RDi	- Relación de intercambio energético en la turbina de vapor (kcal/kwh).

- RIEi - Relación de intercambio energético para el grupo generador de vapor i (kcal de comb/kcal de vapor).
- RIEPROMi - Relación de intercambio energético promedio en el turbogruppo i. (Kcal de combustible/Kcal de vapor).
- S - Número de grupos generadores de vapor.
- SUMEE - Sumatoria de la energía eléctrica total consumida en la planta. (KWH)
- SUMQi - Sumatoria de calor proporcionado por los combustibles. (Kcal)
- SUMQCI - Sumatoria de calor de los combustibles usados en generadores de combustión interna. (Kcal)
- SUMQTG - Sumatoria de calor de los combustibles usados en turbinas de gas. Kcal
- SUMY - Sumatoria de vapor de caldera (Kcal)
- SUMY1 - Sumatoria de vapor de extracción. (Kcal).
- SUMW - Sumatoria de energía eléctrica generada (Kcal).
- SUMZ - Sumatoria de combustibles de uso directo (Kcal).

t	- Número de combustibles usados.
TEi	- Temperatura del vapor de extracción i (grad. C)
TGVi	- Temperatura del vapor en el grupo - generador de vapor i (grad. C)
u	- Número de turbogrupos.
VD	- Flujo de vapor de descarga de la turbina (Kg/Hr).
Vi	- Flujo de vapor de extracción de la - turbina (Kg/Hr).
Vj	- Vapor que se envía a unidades produc- tivas y/o servicios generales. Kg/hr
Vk	- Producción de vapor vivo (Kg/Hr).
Vo	- Flujo de vapor de entrada a la tur- bina (Kg/Hr).
Vx	- Vapor que se envía a la U.P. x
Vy	- Vapor que se envía a la U.P. y
VEi	- Masa de vapor de la extracción i.Kg
VEj	- Vapor de extracción que se envía a UP y/o Servicios Generales.
VEx	- Masa del vapor de extracción que se envía a la U.P. x (Kg).
VEY	- Masa del vapor de extracción que se envía a la U.P. y (Kg).

- VCMBGVi - Volumen de combustible i usado en generadores de vapor (Mt cub).
- VCMBTGi - Volumen de combustible i usado en turbinas de gas (Mt cub).
- VCMBCi - Volumen de combustible i usado en generadores de combustión interna (Mt cub).
- VCMBSGCi - Volumen de combustible i usado en servicios generales complementarios (Mt cub).
- VCMBUPi,j - Volumen del combustible j consumido en la unidad productiva i (Mt cub).
- Wi - Energía eléctrica consumida en la unidad productiva i (KWH).
- W16 - Energía eléctrica consumida en los servicios generales (KWH).
- x - Unidad productiva x.
- y - Unidad productiva y.
- Yi - Energía de vapor de caldera consumida en la unidad productiva i. (Kcal).
- Y16 - Energía de vapor de caldera consumida en servicios generales (Kcal).
- Y1 - Energía de vapor de extracción de turbinas (Kcal).

- YI16 - Energia de vapor de extracción en servicios generales (Kcal).
- Z1 - Energia de combustibles de uso directo en la unidad productiva i (Kcal).
- Z16 - Energia de combustibles de uso directo en servicios generales (Kcal)
- ZHE100i - Energia calorifica del vapor que entra al turbogruppo i (Kcal).
- ZHX100i - Energia calorifica de las extracciones del turbogppo i (Kcal).
- yx - Porcentaje de la producción de la U.P. y que se va a la U.P. x
- Porcentaje de Kcal de combustible - que se va a S.G.C.
- ^ - Porcentaje de Kcal de energia eléctrica que se va a S.G.C.
- 4 - Porcentaje de Kcal de vapor de caldera que se va a S.G.C.
- 5 - Porcentaje de Kcal de vapor de extracción que se va a S.G.C.

ANEXO II

PODERES CALORIFICOS Y EQUIVALENCIAS ENERGETICAS.

P r o d u c t o

---

Coque de petróleo (Kcal/ton.)	7465000
Gas licuado (Kcal/barril)	1051500
Gasolinas (Kcal/barril)	1295700
Querosenos (Kcal/barril)	1405700
Diesel (Kcal/barril)	1469600
Combustóleo (Kcal/ metro cubico)	10.019*10**6
Asfaltos (Kcal/barril)	1593000
Lubricantes (Kcal/barril)	1469600
Grasas (Kcal/Barril)	1469600
Parafinas (Kcal/barril)	1469600
Gas residual (Kcal/m <sup>3</sup> )*	9183
Etano (Kcal/barril)	776664
Gas residual de importación (Kcal/m <sup>3</sup> )	9077
Carbón Térmico (MICARE) (Kcal/ton.)	4367180
Carbón metalúrgico nacional (Kcal/ton.)	5879160
Carbón metalúrgico internacional (Kcal/ton.)	7232400
Coque de carbón (Kcal/ton.)	6667920
Bagazo de caña (Kcal/ton.)	1684990
Equivalente primario de energía eléctrica (Kcal/Kwh)**	2860

---

\* Corresponde a volúmenes medidos a 20°C y a la atmósfera, no a volúmenes facturados. El poder calorífico de facturación es 8460 Kcal/m<sup>3</sup>.

\*\* Por convención se asigna como fijo el equivalente correspondiente a 1981.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASOCIACION INTERNACIONAL DE LA ENERGIA  
Bilanis Energetiques 1970-1982  
AIE Paris 1984
- 2.- AZUCAR S.A.  
Estadísticas azucareras  
UNPASA México varios años
- 3.- AZUCAR S.A  
Informe de Corridas  
UNPASA México varios años
- 4.- AZUCAR S.A  
Manual Azucarero  
UNPASA México varios años
- 5.- COMISION COORDINADORA DE POLITICA INDUSTRIAL  
El sector público en la ind. azucarera  
México mimeo 1976
- 6.- COMISION NACIONAL DE LA INDUSTRIA AZUCARERA  
Revista Azúcar  
CNIA México números 1,2, y 3 1981
- 7.- EL COLEGIO DE MEXICO  
Uso eficiente y conservación de la energía en México  
Diagnóstico y perspectivas  
El colegio de Me'xico. México 1985
- 8.- FERNANDO SCHUTZ  
Consumo de Energía en industrias seleccionadas  
CONACYT, México 1983

- 9.- HUGOT E  
Manual para ingenieros azucareros  
Mac Graw Hill Mexico 1983
- 10.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
Demanda, Análisis y Perspectivas  
IMP México 1975
- 11.- INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
Foro interdisciplinario sobre fuentes alternas de  
energía  
IPN México mimeo 1984
- 12.- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION  
Sugar year book  
ISO USA 1983
- 13.- MARCELO GARCIA  
Petróleo y alternativas energéticas en América Latina  
Nueva Imagen México 1984
- 14.- MIGUEL A. CACERES  
Consumo de energía en la ind. azucarera  
El Colegio de México. México 1985
- 15.- PETROLEOS MEXICANOS  
México: Balance de Energía 1983  
PEMEX. México 1984