

24 A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

APLICACION DE UNA AUDITORIA ENERGETICA A  
UNA EMPRESA PRODUCTORA DE FIBRA DE VIDRIO

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A N :

**PATRICIA DIAZ MORENO**

**ALEJANDRA MARTINEZ GARCIA**



MEXICO, D. F.

1994

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.



EXAMENES PROFESIONALES  
PAGO DE CUANTÍA


**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE	PROF. ALFONSO MONDRAGON MEDINA
VOCAL	PROF. RODOLFO TORRES BARRERA
SECRETARIO	PROF. ALEJANDRO VILLALOBOS HIRIART
1ER. SUPLENTE	PROF. HERMENEGILDO SIERRA MARTINEZ
2DO. SUPLENTE	PROF. HUMBERTO RANGEL DAVALOS

**SITIOS DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

- \* SERVICIOS PROFESIONALES EN CONTROL DE CONTAMINACION S.A. DE C.V.
- \* INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO


**ASESOR**

  
\_\_\_\_\_  
ING. RODOLFO TORRES BARRERA

**SUPERVISOR TECNICO**

\_\_\_\_\_  
ING. J. FERNANDO ORTEGA LOPEZ

**SUSTENTANTES:**

  
\_\_\_\_\_  
PATRICIA DIAZ MORENO

  
\_\_\_\_\_  
ALEJANDRA MARTINEZ GARCIA

---

**AGRADECEMOS:**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química por la oportunidad que nos brindaron para cursar una carrera profesional.

Al H. Jurado asignado por sus comentarios y sugerencias para la terminación de este trabajo.

Al Ing. Alejandro Villalobos Hiriart por los conocimientos y la experiencia proporcionados para la realización de esta Tesis.

Al Ing. Fernando Ortega López, nuestro Supervisor Técnico; por la dirección y el interés mostrado, así como por el tiempo dedicado a la realización de esta Tesis.

A nuestro Asesor el Ing. Rodolfo Torres Barrera por las facilidades y el apoyo otorgado para llevar a cabo este proyecto.

# INDICE

	Página
OBJETIVO	3
INTRODUCCION	4
CAPITULO 1: DEMANDA NACIONAL DE ENERGIA	6
1.1 Destino de la Energía Primaria	7
1.2 Sector Industrial	10
1.3 División del Consumo de Energía por Rama de Actividad Económica	11
1.4 Industria Vidriera	11
CAPITULO 2: DIAGNOSTICO ENERGETICO	15
2.1 Definición de Auditoría Energética	17
2.1.1 Objetivos de una Auditoría Energética	17
2.2 Tipos de Auditorías Energéticas	18
2.2.1 Auditoría de Primer Grado	18
2.2.2 Auditoría de Segundo Grado	19
2.2.3 Auditoría de Tercer Grado	20
2.3 Metodología de una Auditoría Energética	24
2.4 Procedimiento Matemático para realizar el Balance de Energía	35
2.5 Indices Energéticos	53
2.6 Análisis Económico	54
2.6.1 Costo/Beneficio	56
2.6.2 Método del Valor Presente	57
2.6.3 Método de la Tasa Interna de Retorno	58
2.6.4 Método del Valor Presente Neto	58
2.6.5 Periodo de Recuperación	59

<b>CAPITULO 3: INFORMACION TECNOLOGIA DEL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>61</b>
3.1 Procesos de Fabricación de Vidrio	64
3.1.1 Tipos de Hornos	70
3.2 Utilización de la Energía en el Proceso de Producción de Fibra de Vidrio	84
3.3 Factores Condicionantes del Consumo de Energía en el Proceso de Fibra de Vidrio	85
<b>CAPITULO 4: APLICACION DE LA METODOLOGIA DE UNA AUDITORIA ENERGETICA A UN CASO REAL EN LA INDUSTRIA DE FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>90</b>
4.1 Selección del tipo de Auditoría Aplicada	90
4.2 Descripción del Proceso de Fibra de Vidrio	93
4.3 Obtención de la Información Energética del Proceso	96
4.4 Balances de Materia y Energía. Diagramas de Sankey	106
4.5 Indices Energéticos	131
4.6 Propuestas de Conservación Energética en el Proceso de Fibra de Vidrio	133
4.7 Evaluación Técnica de las Propuestas de Conservación Energética	135
4.7.1 Indices Energéticos esperados de las Propuestas de Conservación Energética	145
4.8 Evaluación Económica de las Propuestas de Conservación Energética	147
4.9 Programa de Uso Eficiente de Energía en el Proceso de Fibra de Vidrio	151
<b>CAPITULO 5: CONCLUSIONES</b>	<b>162</b>
<b>APENDICE A: DATOS TERMODINAMICOS</b>	<b>164</b>
<b>APENDICE B: GLOSARIO DE TERMINOS</b>	<b>171</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>174</b>

## OBJETIVO

---

Aplicar la metodología de una Auditoría Energética a un caso real en la industria del vidrio evaluando las oportunidades de ahorro de energía en función de su utilidad técnica, económica y ambiental.

## INTRODUCCION

---

En la industria se tienen importantes consumos de energéticos, es necesario analizar cómo, dónde y cuánto se consumen estos en la planta a fin de reducir su consumo y tener un mejor aprovechamiento.

Para esto se deben realizar estudios y análisis que constituyen lo que a nivel internacional se conocen como Diagnósticos Energéticos cuya herramienta principal es la Auditoría Energética.

A partir de la aplicación de una Auditoría Energética, se puede conocer el consumo de energía en el proceso, detectar el potencial viable de ahorro y las principales medidas correctivas y/o preventivas. Con lo anterior será posible implantar un Programa de Uso Eficiente de Energía que traerá a la empresa ventajas colaterales como la disminución en los costos de producción, aumento en la vida útil de los dispositivos que manejen energía, control del impacto ecológico provocado por la planta industrial y finalmente la obtención de productos de mayor competitividad.

Es importante que toda empresa realice periódicamente alguno de los tres tipos de auditorías existentes para tener un mayor aprovechamiento de los energéticos ya que su desmesurado consumo esta ejerciendo una fuerte presión sobre los combustibles convencionales, al grado de plantearse el problema de agotamiento del petróleo y del gas natural en un futuro no muy lejano.



Por lo anterior, en México diversas empresas se han dado a la tarea de optimizar el uso de los recursos naturales a partir de las opciones de ahorro que se derivan de una Auditoría Energética. Dentro de estas empresas se encuentra la Industria del Vidrio, que para lograr sus procesos de transformación hace uso de diversos energéticos (principalmente gas natural y energía eléctrica).

En los últimos años la demanda de energéticos en esta rama industrial ha aumentado, registrándose de 1991 a 1992 un aumento porcentual de 4.7, colocándose en el octavo lugar dentro de las dieciséis industrias nacionales más importantes por sus altos consumos de energía. Ante tal situación se realizarán estudios en ahorro de energía aplicando Auditorías de Primero y Segundo Grado, con el objetivo de optimizar el proceso de producción en una empresa productora de Fibra de Vidrio.

## 1. DEMANDA NACIONAL DE ENERGIA

---

Para ubicarse en el contexto del uso eficiente de la energía, se partirá de un breve análisis del Balance Nacional de Energía con el fin de conocer el comportamiento de los sectores fundamentales de la actividad económica nacional, principalmente del sector industrial.

El Balance Nacional de Energía contempla la oferta, la transformación y el consumo de energía en México; al mismo tiempo identifica el origen, uso y participación de las diferentes fuentes energéticas, que lo convierten en un valioso instrumento de planeación que permite además, una identificación plena de los flujos energéticos en el país.

En 1992 la participación de las fuentes de energía para satisfacer la demanda nacional fué la siguiente:

Los hidrocarburos participaron con el 90 por ciento en la producción de energía primaria, cifra inferior en 0.3 puntos porcentuales comparada con la de 1991. Lo anterior se debió principalmente al decremento de 5.4 por ciento observado en la producción de gas no asociado, así como a las reducciones de 1 por ciento en el gas asociado y de 0.2 por ciento en el petróleo crudo.

La producción de electricidad elevó su participación, en total a 0.5 puntos porcentuales, para ubicarse en 4.3 por ciento, reflejando el crecimiento significativo de la hidroenergía, la cual constituyó el 72.8 por ciento del total de la producción eléctrica primaria. [1]

El monto de energía no aprovechada, constituida por el envío a la atmósfera de gas y condensados y en forma marginal por derrames accidentales de petróleo crudo, ascendió a un total de 44 petacalorías<sup>1</sup> cantidad superior en 10.8 por ciento a la observada en 1991 y en la que predominó la quema de condensados, con una participación de 71.2 por ciento. Este rubro, sumado a 756.4 petacalorías de exportaciones de crudo generó una reducción de la oferta interna bruta de 800.7 petacalorías.

Por otra parte, el decremento de 4.8 por ciento en la producción de bagazo de caña provocó que la participación de la biomasa, constituida también por la leña, decreciera 0.1 puntos porcentuales para ubicarse en un nivel similar al registrado por la electricidad.

Finalmente, el decremento de 5.0 por ciento observado en la producción de carbón provocó que en 1992 su participación se redujera a 1.4 por ciento del total (Fig. 1.1 y 1.2). [1]

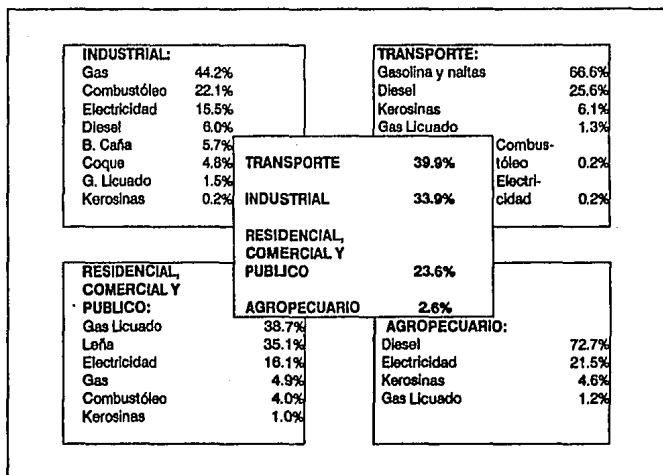
## 1.1 DESTINO DE LA ENERGÍA PRIMARIA

La oferta interna bruta de energía primaria tiene dos destinos principales. En el primero de ellos la energía se canaliza hacia los centros de transformación

---

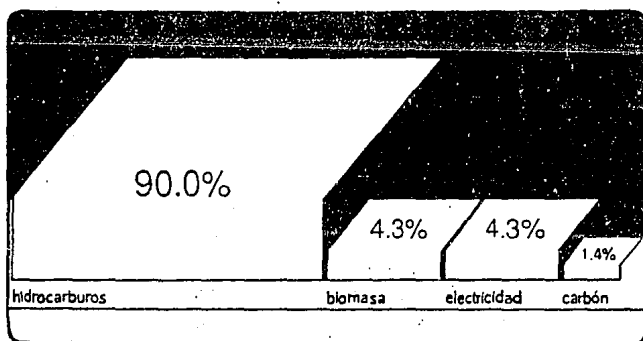
<sup>1</sup>10<sup>6</sup> cal = 1 Petacaloría

**FIG. 1.1 CONSUMO FINAL POR SECTOR Y TIPO DE ENERGETICO EN 1992 (864.964 Petacalorías)**



Ref.: Balance Nacional de Energía. SEMIP. [1]

Fig. 1.2 Producción Total de Energía, 1992. (2,121.49 Petacalorías).



Ref.: Balance Nacional de Energía 1992. SEMIP. [1].

y en el segundo se utiliza directamente por el consumidor final. Una pequeña parte de la energía primaria es consumida por el propio sector energético o se pierde en los procesos de transporte, distribución y almacenamiento.

La energía primaria destinada directamente al consumo final totalizó 104.4 petacalorías, correspondiendo a la leña el 68.6 por ciento, el 18.6 por ciento al bagazo de caña y el 12.8 por ciento al gas natural. El monto constituido equivalió al 7.9 por ciento de la oferta interna bruta de energía primaria.

Los centros de transformación por su parte, absorbieron el 90.5 por ciento de la energía primaria disponible, al procesar 1198.5 petacalorías, cantidad inferior en 0.5 por ciento a la registrada el año anterior.

## 1.2 SECTOR INDUSTRIAL.

De lo anteriormente descrito el sector industrial juega un papel importante en el consumo de los energéticos, por lo que se hace necesario conocer cuales son las plantas industriales de mayor consumo.

En términos generales, la industria consumió en 1992 un total de 293.2 petacalorías, cantidad 1.3 por ciento inferior a la registrada el año anterior. De este total, el 4.2 por ciento correspondió a gas natural, 22.1 por ciento a combustóleo, 15.5 por ciento a la electricidad, 5.7 a bagazo de caña, 4.8 por ciento a coque y el 7.7 por ciento restante la conformaron el diesel, el gas licuado y las kerosinas, (1).

### 1.3 DIVISION DEL CONSUMO DE ENERGIA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONOMICA.

El sector industrial se subdivide por rama de actividad económica. La tabla 1.1 muestra un panorama general de cuales son las principales ramas consumidoras de energéticos.

En la tabla 1.1 se observa que la rama de mayor consumo es PEMEX, participando con el 15.5 por ciento, siguiendo la industria siderúrgica con el 14.6 y posteriormente la industria azucarera y cementera con el 9.9 y 9.2 por ciento respectivamente. Analizando la tabla se aprecia que la industria del vidrio ocupa el octavo lugar como consumidora de energía, siendo su principal energético el gas natural con 6.881 petacalorías.

### 1.4 INDUSTRIA VIDRIERA.

El proceso productivo de la rama del vidrio requirió 8.5 petacalorías en 1992, superando en 4.7 por ciento a la cifra registrada el año anterior.

El principal energético es el gas natural al constituir el 80.5 por ciento del consumo total, mientras que el resto de la energía consumida fué cubierto por la energía eléctrica con 8.9 por ciento, combustóleo con 4.0 por ciento, diesel con 3.8 por ciento; el coque y el gas licuado presentaron 2.6 y 0.2 por ciento respectivamente.

En conjunto, los energéticos utilizados por la industria del vidrio representaron el 2.9 por ciento del consumo industrial total. Ver tablas 1.1 y 1.2. [1]

De lo anteriormente descrito se deriva la necesidad de realizar una

TABLA 1.1 CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL 1982 (PETACALORIAS)

SECTOR INDUSTRIAL Y MINERA	COQUE	GAS LIQUIDO	KEROSENAS	ORSEN	COMBUSTOLIO	GAS	ELECTRICIDAD	BAJOZO DE CASA	TOTAL 1981	TOTAL 1982	VARIACION PORCENTUAL 1981-1982
PEMEX					2.829	42.767			45.357	45.374	(0.1)
SIDERURGIA	13.010	0.080		0.221	3.512	20.329	8.799		45.868	45.764	(0.2)
QUIMICA		0.128		1.023	8.803	14.004	3.827		28.813	28.039	3.0
AZUCAR				0.063	10.242		0.000	16.798	27.053	26.161	(7.2)
CEMENTO					20.519	3.541	2.856		26.816	20.039	7.4
MINERA	0.888	0.274		0.885	1.373	8.826	3.803		13.071	12.807	1.3
CELULOSA Y PAPEL		0.038		1.408	3.083	6.473	2.038		13.038	13.318	(2.1)
VORVO	0.223	0.020		0.323	0.340	6.881	0.798		8.548	8.184	4.7
FERTILIZANTES				0.042	0.322	2.371	0.317		3.052	3.327	(8.2)
CERVEZA Y MALTA		0.008		0.108	1.107	1.442	0.234		2.887	2.828	2.3
AGUAS ENFRIADAS		0.389		1.088	2.120	0.144	0.223		2.141	1.823	11.3
CONSTRUCCION				1.301			0.364		1.383	1.472	(7.7)
AUTOMOTRIZ		0.373		0.101		0.428	0.815		1.488	1.385	8.0
MAE		0.001		0.120	0.130	0.884	0.351		1.305	1.372	(1.7)
ALUMINIO		0.025		0.001		0.288	0.282		0.704	1.283	(45.1)
TANQUES				0.001	0.018	0.080	0.026		0.118	0.115	2.8
SUBTOTAL	14.199	1.267	6.800	6.821	66.110	166.764	21.171	16.798	316.143	296.826	(2.8)
OTRAS RAMAS		3.139	0.002	10.833	11.228	24.004	24.284		74.087	71.648	3.4
TOTAL SECTOR INDUSTRIAL	14.199	4.406	6.802	17.794	87.338	190.768	45.455	16.798	390.230	368.474	(1.3)



Tabla 1.2 Evolución del Consumo Energético en la Industria Vidriera.

AÑO	TOTAL DE COMBUSTIBLE SÓLIDOS	COQUE	TOTAL DE PETROLIFEROS	GAS LICUADO	DIESEL	COMBUSTOLEO	GAS NATURAL	ELECTRICIDAD	TOTAL
1988	0.216	0.216	0.849	0.004	0.091	0.754	5.636	0.617	7.318
1989	0.297	0.297	0.995	0.004	0.168	0.795	5.623	0.645	7.530
1990	0.255	0.255	1.712	0.005	0.147	1.560	5.460	0.698	8.123
1991	0.220	0.220	0.502	0.018	0.153	0.331	6.710	0.732	8.164
1992	0.223	0.223	0.688	0.020	0.323	0.345	6.881	0.756	8.548

Ref.: Balance Nacional de Energía. SEMIP. [1]

Auditoría Energética en una de las múltiples industrias del vidrio específicamente en el Proceso de Fibra de Vidrio para determinar las posibilidades de ahorro de energía.

## 2. DIAGNOSTICO ENERGETICO

---

La energía es un costo de producción más importante después de las materias primas y en consecuencia debe ser controlada por la misma razón que se controlan los costos de mano de obra y materiales. Cuando en una instalación industrial el uso de la energía va en aumento y no se tiene el control adecuado, es preciso formular un programa de conservación y ahorro de energía completo y bien definido para optimizar su uso y poder contar con productos competitivos a nivel internacional. Para ello es necesario apoyarse en los lineamientos que marca un Diagnóstico Energético.

Un Diagnóstico Energético consiste en la aplicación racional y lógica de diversas técnicas que permitan alcanzar la máxima eficiencia en el uso de los energéticos utilizados, en una planta industrial. Para ello, se debe seguir una serie de etapas:

### A) Auditorías Energéticas

Se refiere al análisis histórico del consumo de energía relacionado con los niveles de producción y al análisis de las condiciones de diseño y operación de los equipos, a las características de los procesos y tecnologías utilizadas.

Con base en este estudio, se fijarán los objetivos y metas a seguir en función de los potenciales de ahorro descubiertos y se investigarán las diversas opciones para alcanzarlos.

#### **B) Planeación**

Consiste en elegir la opción concreta de acción a seguir, las políticas en materia de energía, el tiempo de ejecución, el logro de objetivos y, por último, se determina el monto de recursos financieros para la aplicación del Programa.

#### **C) Organización**

En esta etapa se define la estructura que permita instrumentar el programa establecido.

Aquí es necesario especificar las funciones, jerarquías y obligaciones de todos los grupos e individuos que participen en el Programa de Ahorro de Energía.

#### **D) Integración**

Consiste en elegir a la persona o grupo de personas que van a ser los responsables de la ejecución del Programa; así como la adquisición de la instrumentación y el equipo necesario para realizar la auditoría y monitorear los avances del Programa.

### **E) Dirección**

Consiste en delegar la autoridad necesaria al responsable del Programa y delimitar su área de control y coordinación. Asimismo, se deben definir los mecanismos de supervisión y los medios de comunicación como componentes esenciales del Programa

### **F) Control**

En esta etapa se establecen normas de consumo de energía, de mantenimiento y de operación, así como el método que permita dar seguimiento permanente al Programa. Todo ello, mediante monitoreo a través de un sistema integral de información energética y listas de verificación de la aplicación de medidas de ahorro de energía.

## **2.1 DEFINICION DE AUDITORIA ENERGETICA**

Una Auditoría Energética es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de un análisis crítico a una instalación consumidora de energía para llevar a cabo un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determina cuánto, cuándo y cómo es utilizada la misma.

### **2.1.1 Objetivos de una Auditoría Energética.**

- Establecer diagnósticos energéticos.

- Establecer metas de ahorro de energía.
- Diseñar y aplicar sistemas integrales para el ahorro de energía.
- Analizar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía.
- Disminuir el consumo de energía, sin afectar los niveles de producción.
- Elevar la productividad de los procesos.
- Obtener productos competitivos.

## 2.2 TIPOS DE AUDITORIAS ENERGETICAS

A nivel internacional se tienen identificados tres niveles o grados de auditorías energéticas, el primero se fundamenta en la inspección visual de las instalaciones y el análisis de los reportes rutinarios de operación y mantenimiento, y los subsiguientes en datos específicos y análisis detallados de la generación, transporte y el uso de los recursos energéticos primarios en una instalación.

El costo y la rapidez de ejecución de las auditorías es variable en función de la complejidad y tamaño de las instalaciones y unidades consumidoras de energía, del enfoque y precisión de acuerdo con las necesidades del proceso en el cual se desarrolló el estudio energético. Con lo anterior y dada la gama de opciones, es evidente la conveniencia de establecer en detalle el alcance y las características de cada tipo de auditoría.

### 2.2.1 Auditorías de Primer Grado o Primer Nivel.

Este grado, comúnmente referido como nivel de inspección, se lleva a cabo mediante un examen visual del proceso industrial de que se trate, reconociéndolo

y revisando el diseño original, para dar una idea cualitativa de los ahorros potenciales obvios de energía, que puedan lograrse por medio de procedimientos de mantenimiento y operación. Es decir, determinar fugas de energía por mala operación de los equipos, por fallas que requieren estudios complementarios e inversiones mínimas, como sucede con equipos y tecnología obsoleta, falta de sistemas de control, etc. para estos casos la información recabada sirve como inicio para la jerarquización de las medidas de ahorro y el desarrollo de estudios específicos. Cada oportunidad debe registrarse y evaluarse debidamente en términos económicos y técnicos.

Para obtener buenos resultados, al aplicar estas auditorías se debe contar con la participación de los trabajadores, operadores y responsables de cada área de trabajo, así como del coordinador o administrador de energía. Es conveniente planear la periodicidad con que se efectuarán las auditorías, con el fin de supervisar los avances de las medidas y continuar la búsqueda sistemática de nuevas oportunidades de Conservación Energética.

### 2.2.2 Auditorías de Segundo Grado o Segundo Nivel.

La auditoría de segundo nivel, ofrece el punto de vista del consumo de energía por áreas funcionales o procesos específicos de operación, de esta manera se detectan las áreas de mayor desperdicio energético. Este grado además de proveer datos acerca del ahorro de energía, promete reducir costos de operación, determinando de esta forma las metas específicas del área o grupo de Conservación de Energía. El costo de realización es mayor que la auditoría de Primer Nivel, pero menor a la de Tercer Nivel.

Como se mencionó anteriormente, la evaluación de la eficiencia energética se realiza por áreas y equipos intensivos, como lo son los equipos de bombeo y

compresión de transferencia de calor, servicios auxiliares, etc.

La ejecución de este tipo de auditorías requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, incluyendo la información sobre volúmenes manejados o procesados y consumos de energía-producto.

La información se compara, con la obtenida directamente en campo (por medición y control), contra la de los valores de diseño, con objeto de obtener las variaciones de eficiencia. En estas auditorías se incluyen evaluaciones técnico-económicas.

En la recopilación de información de campo se hace indispensable el uso de instrumentos portátiles, fijos y semifijos para tener una evaluación más confiable (tabla 2.1 y 2.2).

Con la información de campo, el primer paso consiste en notar las desviaciones entre las condiciones de operación actuales y las de diseño, para así jerarquizar el orden de análisis para cada equipo o proceso. Después se determina el flujo de energía, servicio o producto perdido en el equipo de estudio. De esta manera se calculan las dimensiones del equipo de recuperación y se estima el costo preliminar.

### 2.2.3 Auditoría de Tercer Grado o Tercer Nivel.

El último tipo de auditoría, la de Tercer Nivel, proporciona información precisa y más confiable, de todos y cada uno de los puntos relevantes del proceso industrial (entradas y salidas de energía), así como las pérdidas de energía en cada uno de los equipos. Este grado está caracterizado por instrumentación compleja, por la adquisición de datos y por los estudios de ingeniería



**TABLA 2.1 EQUIPO BASICO UTILIZADO EN AUDITORIAS ENERGETICAS**

VARIABLE	EQUIPOS
FLUJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidores de placa y orificio</li> <li>- Rotámetros</li> <li>- Tubos de Pitot</li> <li>- Ultrasónico eyc.</li> </ul>
TEMPERATURAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Termómetros</li> <li>- Termopares</li> <li>- Pirómetro óptico</li> <li>- Termógrafos</li> </ul>
PRESION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manómetros de Bourdon</li> <li>- Manómetros en U</li> <li>- Fuelle</li> </ul>
<b>COMPONENTES QUIMICOS</b>	
DE GASES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizadores: O, CO, NOx, CO<sub>2</sub>, HC y Partículas</li> </ul>
ENERGIA ELECTRICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltímetros</li> <li>- Amperímetros</li> <li>- Factorímetro</li> <li>- Kilowattmetro</li> </ul>

Ref.: Diplomado en Administración y Ahorro de Energía. [ 3]

**TABLA 2.2 INSTRUMENTACION PARA ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION.**

INSTRUMENTO	PRINCIPIO DE OPERACION	INTERVALO DE OPERACION
ANALIZADOR DE OXIDOS DE NITROGENO	QUIMILUMINISCENCIA	0.0-2.5, 10, 25, 100, 250, 1000, 2500, 10000 ppm
ANALIZADOR DE DIOXIDO DE AZUFRE	LUZ UV EVITA MOLECULAS DE SO LAS CUALES FLUORECEN AL REGRESAR A SU ESTADO ORIGINAL	0-50, 100, 500, 1000, 5000 ppm
ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO	ABSORCION INFRARROJA	0-10, 1000 ppm en pasos de 10 ppm
ANALIZADORES DE HIDROCARBUROS	IONIZACION DE FLAMA ABSORCION INFRARROJA	1000 ppm VOL
ANALIZADORES DE OXIGENO	DETECCION DE VOLTAJE PRODUCIDO POR LA REACCION DEL OXIGENO EN LA CELDA DE COMBUSTIBLE (OXIDO DE ZIRCONIO) CELDA PARAMAGNETICAS	0-5, 10, 20, 25 %
ANALIZADOR DE DIOXIDO DE CARBONO	ABSORCION INFRARROJA	0.2, 0-10 %

involucrados más detallados. Esto hace que las auditorías de tercer nivel sean las más costosas en comparación con las anteriores, pero es la más importante, puesto que permite analizar y detallar todas las pérdidas de energía. Provee además, suficiente información para justificar los proyectos con inversión de capital que serán mayores, ya que implican modificaciones a los equipos e incluso actualización tecnológica, cuando ésta es obsoleta. La aplicación de las medidas derivadas de una Auditoría de Tercer Nivel, tiene una aplicación a largo plazo.

Para realizar esta auditoría es común el uso de técnicas de simulación de procesos, con la finalidad de analizar diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos y por la factibilidad que presentan para evaluar, los efectos de cambio de condiciones de operación en el consumo específico de energía. Debido a que el análisis debe ser exhaustivo, se requiere de información completa de flujo de materiales, servicios auxiliares, etc., además de las variables de presión y temperatura y las propiedades termodinámicas de las diferentes sustancias (corrientes).

Los balances energéticos así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño, complementan la auditoría, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía que se proporciona a la instalación así como las pérdidas y desperdicios globales, y así determinar la eficiencia en el uso de la energía.

Otro método que se incluye en este tipo de auditorías es el balance de exergía, que aplica los principios de la primera y segunda ley de la Termodinámica al diseño y evaluación de procesos y equipos industriales. Este procedimiento es el más adecuado para realizar estudios económicos de sistemas energéticos, que elimina la falta de precisión de las evaluaciones basadas únicamente en la primera ley.

Para cualquiera de los niveles o grados de auditorías energéticas se recomienda elaborar listas de verificación o guías que se utilizarán como elementos de apoyo en la detección de oportunidades y medidas de conservación. Asimismo, proporcionan al personal operativo la forma de evaluar los avances del Programa de Energía en cada área de trabajo.

### 2.3 METODOLOGIA DE UNA AUDITORIA ENERGETICA.

La metodología detallada para efectuar auditorías energéticas, para la industria se ilustra en la figura 2.1 .

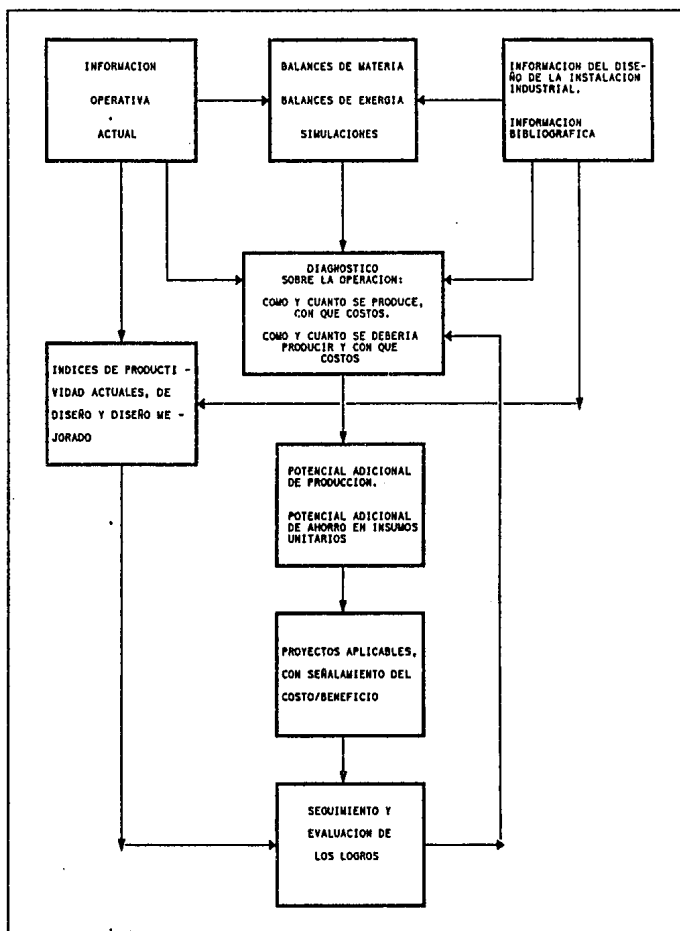
A continuación se describen las etapas más relevantes para hacer una evaluación energética.

#### ETAPA No. 1 RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION HISTORICA.

Una parte esencial de una auditoría es la información histórica del consumo de energía a lo largo del proceso; ésta debe ser solicitada por el auditor o departamento de control de consumos o gastos de la empresa, la cual se prefiere sea lo más detallada posible, es decir, expresada por línea de producción, tipo de energético, datos de por lo menos un año en intervalos de tiempo normales, capacidad instalada, datos de placa y censo de equipo tanto térmicos como eléctricos.

- 1.1 Recopilación de información de diseño.
- 1.2 Consulta de diagramas de proceso y de servicios auxiliares.
- 1.3 Consulta de hojas técnicas de diseño de equipos.

FIG. 2.1 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE AUDITORIAS ENERGETICAS EN LA INDUSTRIA



Ref.: Ier. SIMPOSIUM EXPOSICION "INDUSTRIA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE".

ING. ALEJANDRO VILLALOBOS HIRIART. [2]

- 1.4 Recopilación de información de los últimos avances de la tecnología del proceso.
- 1.5 Localización e inventario de los equipos con mayores consumos energéticos, incluyendo energía eléctrica.
- 1.6 Facturas de los consumos energéticos.
- 1.7 Condiciones de operación de los equipos.
- 1.8 Instrumentación de diseño de los servicios auxiliares y de combustibles.
- 1.9 Localización de los equipos con generación de energía.

2. Recopilación de Información de Operación. Para cada rubro tomar datos de presión, temperatura, flujos y composición.

2.1 Combustibles :

- Gas combustible
- Combustóleo
- Coque
- Otros

2.2 Vapor

- Alta presión
- Media presión
- Baja presión

2.3 Energía Eléctrica

- Consumos :
- Por áreas (históricos y actuales)

2.4 Desfogues :

- Eventuales o permanentes en el caso de existir

2.5 Verificación del estado actual de los equipos con mayor consumo energético

2.6 Localización de fugas y desperdicios

3. Estudio de los programas de mantenimiento para verificar si algún equipo ha sido reparado o cambiado y por lo tanto hay que tomarlo en consideración.

4. Análisis de Iluminación.

## ETAPA No. 2 REALIZACION DE BALANCES ENERGETICOS

1. Verificación de la información operacional:

En este punto se comprueba que la información recopilada sea suficiente para llevar a cabo los balances de materia y energía, tanto en cada uno de los equipos, como los globales, además de confirmar la confiabilidad de los mismos. En caso de imposibilidad para realizar la medición de algunos de los parámetros necesarios, es posible utilizar valores empíricos o valores obtenidos del manual de diseño del equipo correspondiente, escalado a las condiciones operacionales existentes. Es importante aclarar que estos valores serán verificados posteriormente al evaluar dichos equipos.

2. Balances preliminares de materia y energía:

Estos balances, junto con la inspección visual del estado de la planta,

servirán para precisar que equipos requieren de un estudio más completo para determinar sus consumos energéticos así como la cuantificación de las fugas que pueden existir en ellos.

Los estudios pueden ser pruebas de eficiencia de combustión por medio de análisis de gases de chimenea a los equipos de combustión, o bien realizar estudios termográficos, que nos proporcionarán un análisis más exacto del estado actual de dichos equipos. Fig. 2.2

Es importante considerar que estas mediciones necesitan de la ubicación y/o implementación de puntos de muestreo para el análisis de gases y en el caso de la termografía se necesita la utilización de equipo especializado que incrementaría los costos de la auditoría, pero con la ventaja de obtener resultados en un menor tiempo para realizar la evaluación final.

Es conveniente recordar que estos balances se realizan tanto con los datos de operación como con los de diseño, escalados a las consideraciones de operación actuales, como ya se mencionó anteriormente.

### 3. Evaluación de equipos:

Estas evaluaciones se realizan con estadísticas operacionales en cada uno de los equipos seleccionados, determinándose las eficiencias respectivas, así como sus consumos e índices de energía. Resultados que serán comparados con los reportados por diseño para obtener conclusiones y poder recomendar posibles cambios en las condiciones de operación para mejorar la eficiencia de los mismos.



Fig. 2.2 Termografía de un Horno.



Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo.

#### 4. Balances Finales de materia y energía.

Esto se realiza considerando los resultados obtenidos de los balances preliminares de los principales equipos, presentando los resultados en forma de tablas y diagramas. Después de esto es posible comparar los rendimientos energéticos de operación con los de diseño al presentar en una sola tabla o en un solo diagrama los resultados obtenidos, resumiéndolos en el siguiente orden:

- Indices energéticos
- Balances de consumo de combustible
- Balances de consumo de vapor
- Balances de consumo de energía eléctrica
- Balances de desfoques
- Balance global, integración de todos los balances anteriores considerando solo unidades energéticas

### ETAPA No. 3 ANALISIS DE RESULTADOS

#### 1. Detección de oportunidades de Ahorro de Energía.

Al terminar la auditoría se realizan evaluaciones técnicas que sirven para listar oportunidades de ahorro y posteriormente determinar cuales son viables para llevarlas a cabo y cuales no, de acuerdo con su rentabilidad, y por lo tanto, eliminarlas.

Las propuestas que generan beneficios superiores a los costos, sin sacrificar la calidad del producto son rentables. Todas las propuestas que consideran pequeños cambios de operación y que pueden hacerse a un costo mínimo, entran en esta categoría.

Sin embargo muchas propuestas requieren de un costo de capital que puede llegar a ser amortizado por los ahorros de energía generados durante la vida útil de la planta.

Una vez determinadas las oportunidades de ahorro es necesario marcar una ruta de seguimiento para llevarlas a cabo y evaluar los resultados que tendrán debido a las modificaciones que se propongan al proceso o al equipo. Esto es, plantear una estrategia a seguir de acuerdo con la importancia que presenten cada una de las oportunidades de ahorro.

En la planeación de la estrategia a seguir influyen varios factores que son determinantes en la continuación de la metodología de la auditoría energética; algunos de estos factores son la situación tanto técnica como económica de la planta, la disponibilidad de personal y de la tecnología necesaria para mejorar la producción.

Lo anterior significa que es necesario mantener una comunicación continua con personal autorizado de la empresa para lograr un buen seguimiento de las propuestas establecidas.

Las medidas de conservación que se propongan pueden clasificarse para su aplicación en la siguiente forma:

#### Medidas inmediatas y a corto plazo de ejecución.

Las medidas o acciones inmediatas requieren mínima inversión sin mano de obra del exterior, simplemente se trata de llevar a cabo una promoción del uso eficiente de energía dentro de la planta, ajustes operacionales, mantenimiento preventivo de los equipos y mejor manejo de ellos, apeguándose a los manuales de operación de los mismos y no a la tradición de operación.

Las acciones a corto plazo tratarán de aumentar el rendimiento energético de los equipos, enfatizando el proyecto en la mejora del servicio de mantenimiento; adquisición de instrumentación faltante, así como la implantación de un sistema de cuantificación del consumo de energía.

De acuerdo con la experiencia, a través de estas medidas de aplicación inmediata, se puede alcanzar una disminución de consumo energético por unidad de producción del orden de 3 al 5 por ciento. Entre las medidas que pueden ser factibles, las más frecuentes son:

Ajustes operacionales y acciones de mantenimiento preventivo y correctivo:

- a) Controlar la combustión (exceso de aire) en calderas y calentadores a fuego directo.
- b) Reducir el volumen de gas enviado a los quemadores de campo.
- c) Minimizar los procesos y fugas de productos.
- d) Minimizar las recirculaciones.
- e) Incrementar la recuperación de condensados.
- f) Detectar y corregir condiciones de operación ineficiente en bombas, motores, turbinas, intercambiadores, reactores, etc.
- g) Vigilar el cumplimiento de ciclos óptimos de concentración de sólidos en agua de enfriamiento.

Mediante el buen mantenimiento preventivo y correctivo, se evitarán las pérdidas e ineficiencias derivadas de los siguientes conceptos:

- Aislamiento deteriorado, fugas de vapor, equipo de intercambio de calor sucio o con incrustaciones, etc.
- Eliminar fugas de vapor y mantener la operación correcta de trampas de condensado.
- Procurar que el equipo de medición funcione correctamente.

#### Acciones a Mediano Plazo de Ejecución.

Las acciones a mediano plazo representan un conjunto de medidas que originan cambios importantes en los procesos existentes.

Este tipo de acciones representan soluciones de mayor trascendencia que las acciones a corto y mediano plazo, ya que se alcanzan ahorros del orden del 5 al 10 por ciento. Pero requieren más tiempo para su realización, adicionalmente se necesitan efectuar inversiones mayores.

Algunas acciones de este tipo son las siguientes:

- a) Adicionar o reordenar equipo de intercambio de calor con el fin de aprovechar mejor la energía.
- b) Precalentar el aire de combustión a los calentadores de fuego directo y a las calderas.
- c) Recuperar mediante los arreglos necesarios, el gas enviado a quemadores de campo, inyectándolo a la red de combustible.
- d) Recuperar los vapores de hidrocarburos de los tanques de almacenamiento o de las líneas que ventean hacia los quemadores de campo.

- e) Promover una mayor automatización de los procesos.
- f) Emplear equipo de control más preciso para mejorar la combustión en calderas y cámaras de combustión en general.
- g) Cambiar catalizadores ineficientes por aquellos que mejoren el rendimiento de productos y permitan condiciones más favorables de operación.

#### Acciones a Largo Plazo de Ejecución.

Las acciones a largo plazo son las que mayores ahorros pueden representar, aquí se llegan a obtener ahorros del 10 al 20 por ciento en el consumo de energéticos aunque suelen hacerse grandes inversiones, además de que requieren de mayor tiempo para su desarrollo y construcción de proyectos. Entre estas acciones se pueden encontrar las siguientes:

- a) La selección de nuevos procesos industriales y elementos importantes a considerar, de lo cual resultarán mejores rendimientos y un menor consumo de energía por unidad producida.
- b) La consideración de los factores que determinan la localización de un nuevo centro industrial y las posibilidades de integración energética con centros vecinos.
- c) Los aspectos contenidos en una buena ingeniería básica y de detalle, de donde surjan adecuadas localizaciones de equipo: equipos correctamente dimensionados y especificados, condiciones de flujo que ocasionen bajas caídas de presión y los consiguientes bajos consumos de energía, un buen grado de automatización que ayude a lograr mejores rendimientos, etc.
- d) Suspender la operación de una planta de baja eficiencia de energía y sustituirla por una nueva unidad más eficiente.

Los proyectos de conservación de energía deberán presentarse con la respectiva justificación costo-beneficio.

#### 2.4 PROCEDIMIENTO MATEMATICO PARA REALIZAR EL BALANCE DE ENERGIA.

La mejor manera de abordar un estudio sobre el rendimiento térmico de un proceso y evaluar las pérdidas de energía que pueden ser reducidas, es realizar su balance de energía. Este consiste en un recuento de las diferentes formas de energía que se aportan y abandonan el sistema.

Para poder plantear los balances de materia y energía es necesario definir el sistema en el que se va a aplicar dicho balance.

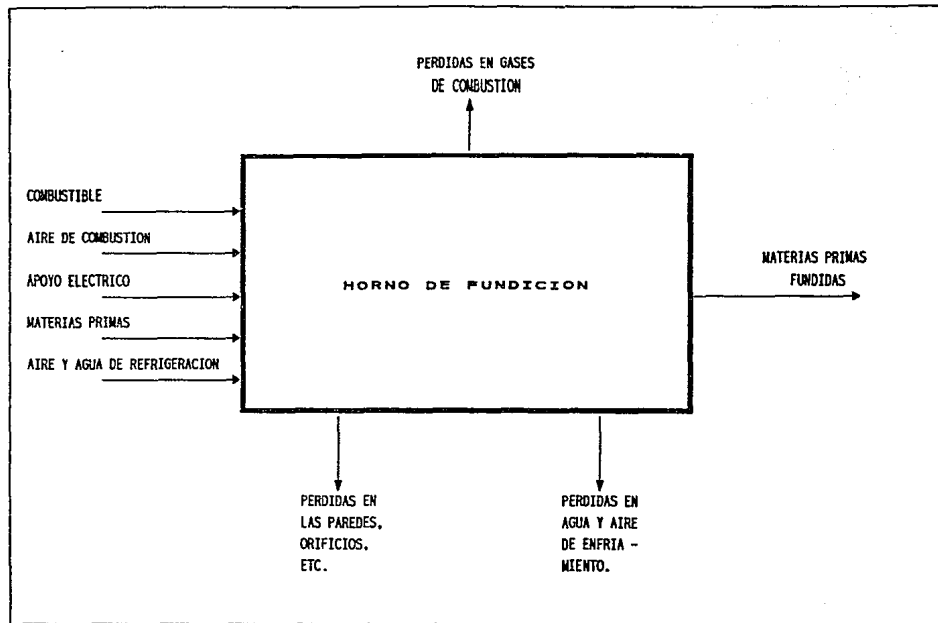
Se considerará, el sistema dentro de un horno, situándolo en lo que se conoce como zona de trabajo y las paredes que rodean a la cámara en la que se colocan los materiales, son límites del sistema. Por lo anterior, se deduce que las chimeneas u orificios que pudiera tener el horno se consideran fuera del sistema.

El sistema es abierto, por lo que va a existir intercambio de materia y energía entre el sistema y los alrededores (Fig.2.3). Considerando que no existen reacciones químicas entre los materiales y los gases de combustión, la cantidad de masa que entra al horno es la misma que sale, por lo tanto, se puede afirmar que se tiene un estado estacionario; por ello la ecuación que rige el balance de materia en el horno se simplifica a:

$$\text{Materia de Entrada} = \text{Materia de Salida} \quad (1)$$

Para plantear el balance de energía hay que definir el sistema sobre el cual

Fig. 2.3 Esquema para realizar el Balance de Materia y Energía.





se va a tomar el balance, para esto, se considerará el mismo sistema utilizado en el balance de materia. Ya que el sistema es abierto la expresión general para el balance de energía basada en la Primera Ley de la Termodinámica es [6]:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Energía que} \\ \text{entra al} \\ \text{sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Energía que} \\ \text{sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{generada en} \\ \text{el sistema} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{acumulada en} \\ \text{el sistema} \end{array} \right] \quad (2)$$

Esta expresión se puede simplificar al tomar en cuenta todas las posibles contribuciones de intercambio de energía, ya sea térmica, mecánica, química, etc.

Debido a que no existe acumulación de energía en el sistema y suponiendo que prevalece el estado estacionario en todo el proceso, el término correspondiente de acumulación se anula.

En función de lo anteriormente indicado, se considerará únicamente el caso en el que el horno se va a utilizar para tratamiento térmico de los materiales y no va a funcionar como reactor químico. Por lo tanto no hay contribución por la energía generada en las reacciones que pudiesen ocurrir y entonces la expresión se reduce a:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Energía que entra} \\ \text{al sistema} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Energía que sale} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] \quad (3)$$

La única contribución al balance de energía es la correspondiente a la transferencia de calor; por lo que el balance se reduce a un balance térmico.

Existe cierta cantidad de calor que entra al sistema y que es precisamente todo el calor que se va a proporcionar al horno en el proceso.

En cuanto al calor que sale del sistema, y que en magnitud debe ser igual a la cantidad de calor que entra, básicamente presenta dos contribuciones, una que corresponde a la cantidad de calor absorbido por la materia prima y otra que se refiere a las pérdidas. Esta última, se debe principalmente a las pérdidas de calor en las paredes, puertas y orificios.

De lo anterior, el balance térmico es:

$$Q = Q_m + Q_p \quad (4)$$

Este balance térmico permitirá conocer las cantidades de calor que se utilizan y se pierden en el proceso; por lo mismo define el rendimiento térmico del equipo, es decir la cantidad de calor que requiera un equipo para trabajar bajo condiciones de equilibrio térmico.

**Calor Suministrado al Horno.**

La energía total térmica que entra al horno puede ser de varios tipos:

- Calor sensible de las corrientes de entrada (aire, combustible, materias primas).
- Calor de combustión (hornos de combustión) o por efecto de Joule (hornos eléctricos).
- Reacciones exotérmicas de la carga.

**Calor sensible de las corrientes de entrada.**

El calor sensible es una medida de la energía absorbida (o cedida) por la

materia prima para elevar su temperatura, siempre y cuando en el transcurso del calentamiento no se hayan producido ni cambios de estado ni reacciones químicas.

Para la determinación del calor sensible que aportan las corrientes de entrada basta conocer el flujo másico, la temperatura y la capacidad calorífica. La Tabla 2.2 muestra las ecuaciones que se emplean para determinar el calor suministrado por dichas corrientes.

Tabla 2.2 Ecuaciones para calcular el calor sensible.

Calor Sensible de las Corrientes de Entrada	E C U A C I O N
Calor sensible del combustible	$Q_{comb} = G_{comb} \cdot C_{p,comb} \cdot (T_1 - T_2)$ (5)
Calor sensible del aire total seco	$Q_{as} = G_{as} \cdot C_{p,as} \cdot (T_1 - T_2)$ (6)
Calor aportado por el vapor de agua contenido en el aire total	$Q_{av} = G_{av} \cdot C_{p,av} \cdot (T_1 - T_2)$ (7)
Calor sensible de las materias primas	$Q_m = G_m \cdot C_{p,m} \cdot (T_1 - T_2)$ (8)
Calor sensible de los refrigerantes	$Q_r = G_r \cdot C_{p,r} \cdot (T_1 - T_2)$ (9)

En los hornos industriales, la modificación del calor sensible no suele constituir un fin en sí mismo, sino un paso intermedio necesario o conveniente para hacer posible u optimizar reacciones químicas y/o cambios de estado.

Refiriéndose a la categoría de cambios de estado, el calor sensible juega los siguientes papeles:

- Hace posible el cambio de estado en aquellos casos en que éste se produce a una temperatura fija. (Ej.: cambios de estado cristalino, fusión, etc).
- Controla las condiciones y la cuantía en que dicho cambio de estado se produce. (Ej.: en vaporización de materiales, conjuntamente con la presión,

fija el grado de vaporización).

En cuanto a las reacciones químicas, el calor sensible influye muy estrechamente sobre dos aspectos:

- Aporta energía de activación necesaria para que se inicien las reacciones.
- Controla directamente la cinética de las reacciones.

El calor sensible tiene una característica muy importante desde el punto de vista de la utilización racional de la energía: representa un consumo de energía que normalmente puede recuperarse en su totalidad, aún cuando esto sólo se efectúa hasta un límite fijado por las condiciones económicas.

#### Calor Latente.

El calor latente es una medida de la energía absorbida (o cedida) por las materias primas cuando se produce un cambio de estado de las mismas.

Bajo la denominación de cambio de estado se entienden diversos conceptos:

- Vaporización (paso de líquido a vapor, total o parcial).
- Fusión (paso de sólido a líquido).
- Sublimación (paso de sólido a vapor o gas).
- Transformaciones cristalinas.

Si se dispone de los datos necesarios, la determinación de calor latente es sencilla, aplicando la fórmula:

$$Q_L = G_1 \cdot \lambda \quad (10)$$

La determinación de calor latente de cambio de estado es función de la temperatura y la presión. Se requiere también, de la composición y la cantidad de materia que cambia de estado. Esto permite la recuperación de la energía aportada para posibilitar el cambio de estado, aunque en algunos casos no es posible, como en el caso de fusión de metales, para su posterior moldeo, y del vidrio utilizado para diversos productos huecos.

En los procesos integrados es una práctica común la reutilización de los calores latentes, mediante intercambio de calor con la propia materia prima alimentada al horno o en otros puntos del proceso

#### Calor de reacción.

El calor de reacción mide las variaciones del contenido energético de los productos que reaccionan y la de los resultantes de la reacción.

Considerando dichas variaciones, pueden dividirse las reacciones en dos clases:

#### Reacciones Endotérmicas.

En ellas, el contenido energético de los productos resultantes de la reacción es superior a la de los productos que reaccionan y por tanto requieren una aportación de energía exterior al sistema que no puede recuperarse.

#### Reacciones Exotérmicas.

El contenido energético de los reactivos que reaccionan supera la de los productos resultantes de la reacción y se libera una cantidad de energía en el transcurso de la reacción que puede aprovecharse. Como ejemplo de estas

reacciones puede citarse la tostación de las piritas en la que la energía liberada se utiliza para generar vapor y producir energía eléctrica.

La determinación de los calores estándares de reacción es fácil en reacciones simples, para lo cual se utiliza el Método de los Calores de Formación.

Para aplicar el Método de los calores de Formación es necesario conocer la estequiometría de la reacción y los calores de formación estándar, aplicando la ecuación 11 se obtiene el Calor Estándar de Reacción [7]:

$$\Delta H^{\circ} = (\sum n_p \cdot H^{\circ}_f) - (\sum n_r \cdot H^{\circ}_f) \quad (11)$$

Algunos procesos se llevan a cabo bajo condiciones extremas de presión y temperatura, por que se hace necesario adicionar al calor estándar de reacción, el calor de reacción en función de la presión y la temperatura. Este calor se cuantifica con la siguiente expresión:

$$\Delta H_R = \int C_{p,i} \cdot dT \quad (12)$$

$$\Delta H_R = R \cdot \left[ A \cdot T + \frac{B \cdot T^2}{2} + \frac{C \cdot T^3}{3} + \frac{D}{T} \right] \quad (13)$$

Por lo tanto el Calor Total de Reacción es:

$$\Delta H_R = \Delta H^{\circ} + \Delta H_R \quad (14)$$

### Calor de Combustión.

En general, una reacción de combustión es aquella que incluye un combustible y un oxidante (comburente) que al entrar en contacto y reaccionar liberan una determinada cantidad de energía.

Enfocaremos nuestra atención a reacciones de combustibles que contengan primordialmente carbono C e hidrógeno H. El oxidante será oxígeno o aire y el bióxido de carbono y el agua son los productos de combustión.

La combustión perfecta y completa requiere la presencia de oxígeno suficiente para que todo el carbono y el hidrógeno del combustible se conviertan en bióxido de carbono y agua.

Durante una combustión incompleta aparecerán subproductos, entre los cuales los más importantes son el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, si el oxidante es aire.

### Cálculo de Exceso de Aire.

Prácticamente nunca es posible tener una combustión completa sin una cantidad mayor del aire teóricamente calculado. El término Exceso de Aire (%EA), se usa a menudo y se define como sigue:

$$\% EA = \frac{\text{Aire empleado} - \text{Aire teórico}}{\text{Aire teórico}} \quad (15)$$

La cantidad de aire teórico se determina estequiométricamente de la reacción de combustión.

Como anteriormente se mencionó, una reacción de combustión libera energía que se conoce como calor de combustión y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_c = G_{comb} * PCI \quad (16)$$

La expresión de  $Q_c$  supone que todo el combustible que llega a los quemadores se consume, lo cual no es completamente cierto, ya que frecuentemente quedan hidrocarburos sin quemar y la combustión no será perfecta.

#### Temperatura de Flama.

La temperatura de flama es otro parámetro importante de la combustión. Esta temperatura es la que se puede alcanzar en la combustión y no depende sólo del poder calorífico del combustible, sino de la forma en que se lleva a cabo dicha combustión. Algunos de los factores que intervienen en la temperatura de flama son los siguientes:

- 1.- Poder calorífico efectivo del combustible, que depende de la temperatura real de operación, ya que ésta determina el equilibrio entre las diversas reacciones que se producen en la combustión.
- 2.- El porcentaje de gas inerte, normalmente nitrógeno, que acompaña al oxígeno en la combustión. Al disminuir este porcentaje, usando aire enriquecido, disminuye el calor absorbido por los gases y, aunque el calor total producido no varía, la temperatura será más elevada.
- 3.- La temperatura de los combustible y comburentes al iniciarse la combustión. Su calor sensible se sumará al poder calorífico del combustible, elevando la temperatura de los gases.
- 4.- La velocidad de la combustión, que si es instantánea liberará toda la energía en forma de calor, reduciéndose las pérdidas por radiación al ser absorbida rápidamente por los productos. Esta velocidad puede



mejorarse mediante un diseño adecuado del quemador o incrementando la reactividad del combustible.

La temperatura de flama, también conocida como temperatura de flama adiabática, se determina con la siguiente expresión [8]:

$$T_f = \frac{Q_r + Q_{comb} + Q_{ele}}{G_p \cdot CP_p} \quad (17)$$

Calor Aportado por Apoyo Eléctrico.

Cuando se trata de hornos eléctricos las expresiones que se emplean para determinar el calor suministrado por energía son:

$$Q_{ele} = I^2 \cdot RE \quad (18)$$

$$Q_{ele} = KWh \cdot 860 \quad (19)$$

Calor Absorbido en el Horno.

El calor aportado es absorbido y aprovechado por las materias primas o productos formados principalmente, sin embargo, también es absorbido por los gases de combustión, por las paredes del horno, por los refrigerantes empleados, etc., y en estos casos se consideran como pérdidas en los alrededores.

Las principales causas de pérdidas se deben a:

- Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del horno.
- Condiciones físicas y propiedades de los materiales aislantes y

refractarios.

- Condiciones en las que se lleva a cabo la combustión.
- Exceso de Aire.
- Espesor de las superficies exteriores.

**Calor Absorbido por el Producto.**

Podemos determinar el calor absorbido por el producto con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{prod}} = G_{\text{prod}} * C_{p_{\text{prod}}} * (T_1 - T_2) \quad (20)$$

**Pérdidas de Calor en las Paredes, Pisos y Techos.**

Para que en un horno exista una transmisión de calor entre dos puntos sin intervención de trabajo exterior, se requiere que exista una diferencia de temperaturas entre ellos, dirigiéndose el calor desde el punto más caliente al más frío. La transmisión se produce según tres mecanismos diferentes, que normalmente aparecen simultáneamente (aunque no con la misma intensidad): conducción, convección y radiación. A continuación se describe brevemente en que consisten cada uno de estos mecanismos.

**Conducción.**

En un sólido opaco y homogéneo, la transferencia de calor de una parte a otra del sólido es causada por la existencia de una diferencia de temperatura, sin que

se produzca desplazamiento de materia. En gases y líquidos, la conducción es sustituida normalmente por convección y radiación.

Los fundamentos de la transmisión de calor por conducción, establecidos por Fourier, establecen que para el caso de un horno aislado y de manera simplificada, la caída de temperatura a través de una pared es constante de dentro hacia afuera y la temperatura de la cara exterior es mayor que la ambiente.

Considerando lo anterior, la ecuación que nos permite determinar el calor perdido por conducción a través de las paredes es la siguiente [10]:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{A * k * (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})}{L} \quad (21)$$

En el caso de tener paredes compuestas, la ecuación (21) se modifica:

$$Q_{\text{cond}} = \sum_i \left[ \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{\frac{L}{k * A}} \right]_i \quad (22)$$

La transferencia de calor por conducción:

- Aumenta cuando aumenta la conductividad térmica del material.
- Aumenta cuando aumenta la temperatura de la zona más caliente.
- Aumenta cuando disminuye la temperatura de la zona más fría.

### Convección.

Es la transferencia de calor debida principalmente al movimiento del fluido adyacente a una superficie caliente. El fluido frío recibe el calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él.

Las correlaciones para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección las ha simplificado McAdams y son las siguientes [10]:

$$\text{Tubos Horizontales} \quad h_c = 0.5 * (\Delta T/d_o)^{0.25} \quad (23.1)$$

$$\text{Tubos Verticales} \quad h_c = 0.4 * (\Delta T/d_o)^{0.25} \quad (23.2)$$

$$\text{Placas Verticales de dos pies de alto} \quad h_c = 0.28 * (\Delta T/z)^{0.25} \quad (23.3)$$

$$\text{Placas Verticales de más de dos pies de alto} \quad h_c = 0.3 * \Delta T^{0.25} \quad (23.4)$$

$$\text{Placas Horizontales Hacia abajo} \quad h_c = 0.3 * \Delta T^{0.25} \quad (23.5)$$

$$\text{arriba} \quad h_c = 0.2 * \Delta T^{0.25} \quad (23.6)$$

por lo tanto, la expresión para calcular las pérdidas de calor por convección es la siguiente:

$$Q_{conv} = A * h_c * \Delta T \quad (24)$$

### Radiación.

Es la transferencia de calor mediante energía radiante que parte de la superficie de un cuerpo emisor en todas direcciones y que no necesita de un soporte material. Cuando esta energía alcanza otro cuerpo, parte de ella puede

reflejarse, otra parte puede ser transmitida a través del cuerpo receptor, cuando es diatérmico y finalmente el resto es absorbida. La radiación térmica se asocia a una radiación electromagnética con un intervalo de longitudes de onda entre 0.01 y 100 micras.

La transmisión de calor por radiación se basa en la propiedad de que todos los cuerpos radian calor. El coeficiente de calor transmitido por radiación desde un sólido caliente es (10):

$$h_r = \frac{\sigma \cdot \epsilon \cdot (T_{\text{cal}}^4 - T_a^4)}{T_{\text{cal}} - T_a} \quad (25)$$

El calor real que transmite un cuerpo a sus alrededores se determina con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{rad}} = A \cdot h_r \cdot \Delta T \quad (26)$$

El proceso de radiación ocurre también entre las piezas a calentar y los gases de combustión, aunque el calor transmitido por radiación de una flama luminosa es mayor que el transmitido por los gases de combustión.

Cuando la energía radiante cae sobre un cuerpo, la energía puede ser parcial o totalmente absorbida o reflejada. Si el medio que la recibe es transparente a la radiación transmitirá algo de la energía a través del cuerpo mismo. La mayoría de los materiales en ingeniería son sustancias opacas que tienen transmitividad cero, pero no hay ninguna que absorba o refleje completamente la energía incidente. Si un cuerpo ordinario emite radiación a otro cuerpo, parte de la energía emitida es retornada al cuerpo por reflexión. Sin embargo, Planck

supuso que nada de la energía emitida es devuelta, lo que equivale a suponer que los cuerpos tienen transmitividad y reflexividad igual a cero.

Cualquiera de las expresiones indicadas deberán usarse para cada pared, techo o piso que se tenga en el horno, de tal forma que se tengan cálculos para todas las contribuciones y de esta manera obtener el total de pérdidas.

Cuando no se tenga alguno de los parámetros requeridos para la aplicación de las ecuaciones (22), (24) y (26) se puede obtener una aproximación de las pérdidas en las paredes haciendo uso de las curvas que se presentan en la gráfica 2.1.

#### Pérdidas de calor en los gases de combustión.

La pérdida de calor en los gases de combustión de un horno viene dada por la ecuación (27):

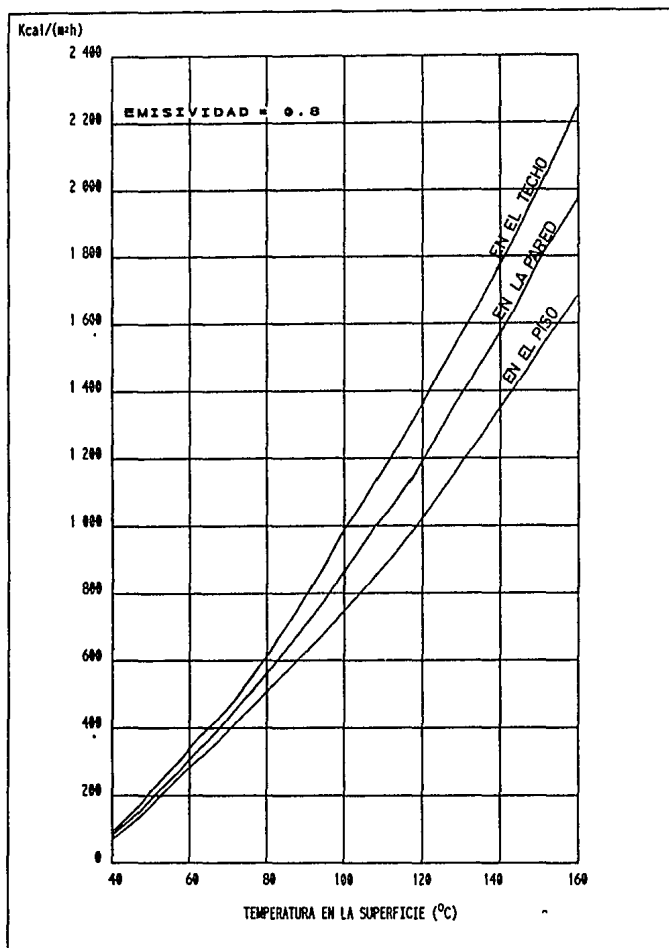
$$Q_{gr} = G_{gr} * C_{pgr} * (T_r - T_0) \quad (27)$$

#### Pérdidas de calor debidas a la combustión.

En la determinación del calor que provee el combustible al quemarse, se supone que todo el combustible se quema para la producción de calor. Sin embargo, esto no ocurre debido a que existen ineficiencias de mezclado que originan que queden hidrocarburos sin quemar, por lo que habrán pérdidas de calor.

La gráfica 2.2 facilita la determinación de la eficiencia de la reacción de combustión, basta conocer el exceso de aire alimentado para la combustión y la

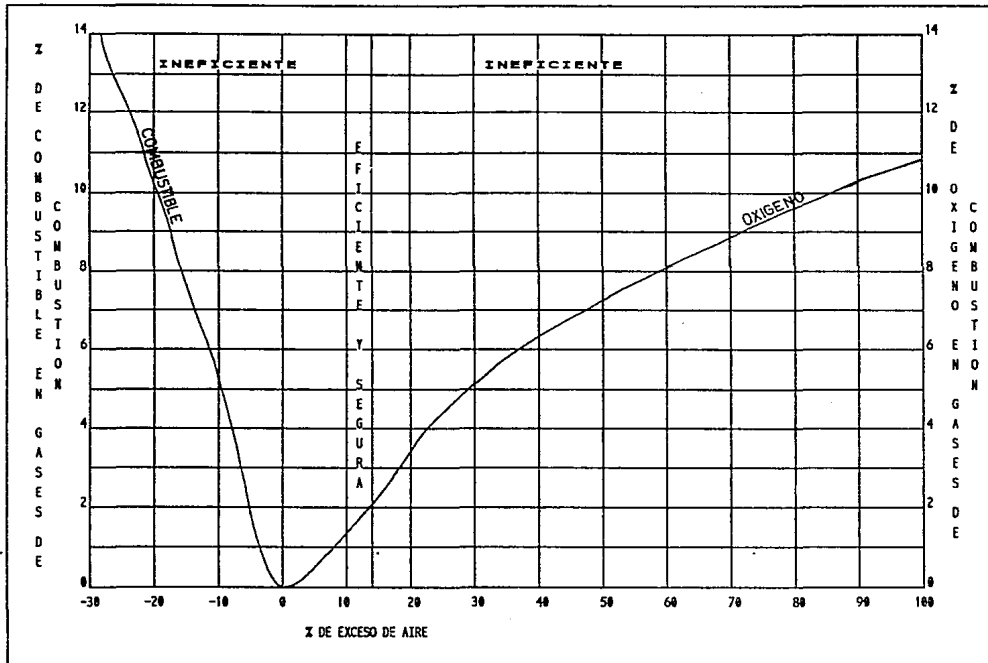
Gráfica 2.1 Pérdidas de Calor en las Paredes.



Ref.: Ier. SIMPOSIUM EXPOSICION "INDUSTRIA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE".

ING. ALEJANDRO VILLALOBOS HIRIART [2].

Gráfica 2.2 Eficiencia de Combustión.





cantidad de oxígeno o hidrocarburos emitidos en los gases de combustión.

#### Rendimiento Térmico.

El rendimiento térmico de un horno indica la cantidad de calor aprovechado para llevar a cabo la reacción entre las materias primas y la fusión de las mismas.

Existen dos métodos para poder determinar el rendimiento de un horno:

- a) Método directo: exige la determinación del calor proporcionado por el combustible y del aire que le ha sido suministrado durante la operación y el calor absorbido al mismo tiempo por las materias primas fundidas o productos formados.

$$\eta = \frac{Q_{\text{prod}}}{Q} * 100 \quad (28)$$

- b) Método indirecto: precisa la determinación de todos los términos de las pérdidas en el balance térmico.

$$\eta = 100 - P_{\text{pe}} - P_{\text{h}} - P_{\text{p}} \quad (29)$$

Para la elección del método son esenciales las posibilidades de medida existentes. Si se conoce con suficiente exactitud la cantidad de combustible y su poder calórico, es más sencillo aplicar el método directo.

#### 2.5 INDICES ENERGETICOS.

Con la información recabada (consumos energéticos y producción global) se

obtendrán indicadores que son de gran ayuda en la evaluación final de la auditoría aplicada. Estos indicadores se conocen como Indices Energéticos, son de gran utilidad, ya que muestran el comportamiento energético actual del proceso y su situación a futuro, después de realizadas las propuestas de ahorro energético. La diferencia de los índices en el tiempo nos indica el potencial de ahorro logrado. [2]

Los Indices Energéticos más empleados son los siguientes:

**Indice de Consumo:** Representa el exceso de consumo de energía del equipo o planta evaluada.

$$I_c = \frac{\text{Consumo Operacional}}{\text{Consumo de Diseño Escalado}} \times 100 \quad (30)$$

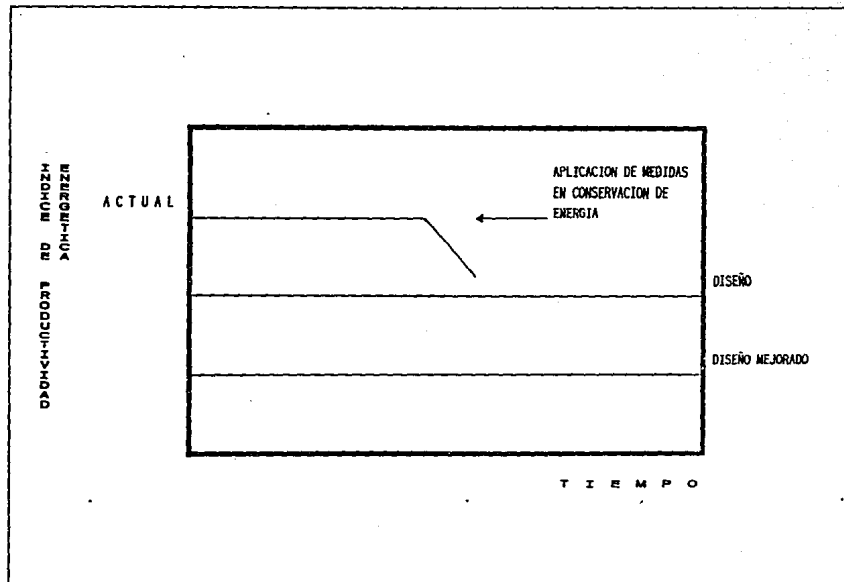
**Indice de Productividad:** Este indice proporciona la cantidad de energía consumida por unidad de producción, calculado tanto para las condiciones operacionales como para las de diseño, para poder apreciar las desviaciones existentes. La ecuación para determinarlo es la siguiente:

$$I_p = \frac{\text{Energía Consumida}}{\text{Unidad de Producto Producido}} \times 100 \quad (31)$$

## 2.6 ANALISIS ECONOMICO.

Una vez realizada la selección de Propuestas de Ahorro de Energía en orden de

FIG. 2.4 SEGUIMIENTO DE LAS PROPUESTAS DE AHORRO DE ENERGIA MEDIANTE INDICES ENERGETICOS



importancia, se hace un Análisis Económico, con la finalidad de tener una idea clara de las posibilidades de llevar a cabo los proyectos de acuerdo con su rentabilidad de inversión y, otorgarle un lugar dentro de la lista de inversiones programada por la empresa.

### 2.6.1 Costo/Beneficio.

La regla costo/beneficio, compara el valor presente de las entradas de efectivo futuras con el valor actual de la inversión original y de cualesquiera otros que se hagan en el futuro dividiendo el primero en el segundo:

$$CB = \frac{VP}{I_0} \quad (32)$$

La regla de decisión es: Si la relación costo/beneficio es mayor que 1, aceptar la propuesta. Si la relación CB es menor que 1, rechazar la propuesta.

CB	≥	1.0	Aceptar
CB	≤	1.0	Rechazar

Sin embargo, se presenta el problema adicional de la rentabilidad de las propuestas, es decir, la homogeneización de unidades monetarias en diferentes puntos del tiempo.

La rentabilidad de las propuestas puede medirse a través del método que descuenta, dada una tasa de interés, la totalidad de beneficios netos durante la vida de la propuesta, comparándola con el valor actualizado de la inversión. Por lo tanto se hace necesario recurrir al Método del Presente Actual.

### 2.6.2 Método del Valor Presente.

El Valor Presente, que se requiere para la aplicación de la ecuación (32) es también, un criterio de decisión que incorpora todos los elementos que componen los criterios de presupuesto de capital en una sola guía consistente que indica si la propuesta se debe aceptar o rechazar.

El procedimiento general consiste en determinar si el valor presente de los flujos futuros esperados justifica la inversión original.

$VP \geq I_0$	Aceptar
$VP \leq I_0$	Rechazar

La ecuación que permite determinar VP es la siguiente:

$$VP = \sum_j \frac{FS_j}{(1 + K)^j} \quad (33)$$

Para aplicar este método como criterio de inversión requiere, resolver el problema de la tasa de interés K. Esta podría establecerse según la tasa de interés del capital que reine en el mercado financiero nacional.

También la rentabilidad de las propuestas puede medirse a través del método que encuentra la tasa de descuento que iguala el valor actualizado de la corriente de beneficios netos con el valor actualizado de los costos de inversión (Método de la Tasa Interna de Retorno T.I.R.).

### 2.6.3 Método de la Tasa Interna de Retorno T.I.R.

El Método de la T.I.R., a diferencia de los métodos anteriores, hace posible la clasificación de las propuestas sin tener que recurrir a una tasa de interés específica que puede variar según la inestabilidad de los precios a futuro.

Este método determina la tasa de interés capaz de igualar la serie de ingresos futuros con la inversión original. Expresándolo en símbolo, el TIR sería la "r" en el denominador de la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_i \frac{FS_i}{(1+r)^i} \quad (34)$$

Adviértase que se tiene que calcular la TIR por el procedimiento de prueba y error. Nótese también que "r" es interno con respecto a las propuestas, a diferencia de la naturaleza externa del costo dado del capital, "K", que se emplea para el Método del Valor Presente. Esto establece la regla de decisión: La propuesta será aceptada si su TIR es mayor o igual que el costo externo de la tasa de interés determinado por el mercado financiero. Si es menor se rechaza la propuesta. Así pues:

TIR (r) ≥ K	Aceptar
TIR (r) ≤ K	Rechazar

### 2.6.4 Método del Valor Presente Neto.

El Valor Presente Neto VPN es una variante del VP. La diferencia radica en que el VPN se resta a la inversión original del valor presente de las entradas de efectivo futuras, cosa que no ocurre con el VP. Es decir:

$$VPN = VP - I_0$$

(35)

El criterio para aceptar o rechazar las propuestas de acuerdo con el VPN es el siguiente:

$VPN \geq 0$	Aceptar
$VPN \leq 0$	Rechazar

El VPN sirve también como criterio en la determinación de la TIR. Es decir que la tasa de interés "r" será aquella que de a la propuesta un VPN de cero.

#### 2.6.5 Período de Recuperación.

El Período de recuperación es una medida de la rapidez con que la propuesta reembolsará la inversión original de capital. Este periodo es el número de años que la empresa tardará en recuperar la inversión mediante las entradas de efectivo que producirá la propuesta de ahorro energético.

Si la propuesta ofrece un periodo de recuperación inferior a cierto número de años (N) determinado por la empresa, se aceptará. Si por el contrario, ofrece un periodo mayor se rechazará.

$PR \geq N$	Aceptar
$PR \leq N$	Rechazar

El periodo de recuperación para propuestas de ahorro energético se recomienda que no sea superior a tres años.

La expresión que nos permite determinar el período de recuperación es la siguiente:

$$PR = \frac{I_0}{\text{Ahorro Anual}} \quad (36)$$



### **3. INFORMACION TECNOLOGICA DEL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO**

El vidrio es un producto artificial que se obtiene a partir de materias primas que aportan ciertos óxidos, como pueden ser  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , etc., en una proporción determinada. El paso de las materias primas al vidrio se hace fundamentalmente a través de reacciones químicas, obteniéndose la masa vítrea a alta temperatura. (Ver tabla 3.1 y 3.2)

Una vez formado el vidrio, se le somete a una serie de operaciones, obteniéndose un artículo determinado a la temperatura ambiente. Como producto acabado, puede considerarse como un líquido subenfriado, ya que, aún siendo enfriado por debajo de su punto teórico de solidificación, conserva las propiedades y estructura interna de un líquido.

Los procedimientos empleados en la elaboración del vidrio son muy antiguos, de tal forma que muchas técnicas y procesos modernos son simplemente perfeccionamientos y mecanizaciones de los métodos antiguos.

La cantidad de energía empleada en la obtención del vidrio depende de muchos factores, como son las materias primas utilizadas, el tipo de vidrio, la clase de producto, los equipos empleados, el modo de operación de éstos (funcionamiento continuo o discontinuo), etc. En cualquier caso, el consumo energético es importante; ello es debido a los siguientes factores:

Tabla 3.1 Composición de algunos vidrios industriales importantes

USO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	BaO	Otros
Lámparas	73	1		17		4	5		
Ventana para aviones	61	17		13	3	2	0.4		TiO <sub>2</sub> :1 As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :1
Artículos de laboratorio Kimax, Pyrex	81	2	13	4					
Restauraciones dentales	51	8	9					32	
Ópticos	99.9								
Fibra elastica	59	4.5	3.5	11	0.5	5.5	16		
Fibra reforzante	54	14	10			4.5	17.5		

Ref.: Encyclopedia of Chemical Processing and Design. [14]

Tabla 3.2 Temperatura de transición y puntos de fusión de algunos vidrios de silicato

VIDRIO	Tg (K)	Tm (K)
SiO <sub>2</sub>	1361	1900
Na <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	790	1073
Na <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	725	1147
K <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	775	1043
K <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	820	1196
K <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	763	1318
CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1020	1665
NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1088	1391
KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1178	1808
CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	1088	1628

Ref.: Encyclopedia of Chemical Processing and Design. [14]

- Temperatura de fusión-afinado elevada (1 500-1 600°C), lo que supone unas necesidades de energía teórica realmente importantes.

- Bajos rendimientos de los hornos de fusión convencionales. Debe tenerse en cuenta que, en la actualidad, se consigue un mejor rendimiento global del horno instalando un equipo de recuperación de calor, próximos al 50 por ciento para ciertos hornos con regeneradores y flamas en espiral. Los valores normales se sitúan entre un 25 y un 40 por ciento. Sin embargo, en algunos hornos pequeños de crisol, este valor es inferior al 5 por ciento.

Estos rendimientos han sido superados ampliamente por los hornos eléctricos, cuya eficiencia energética se sitúa entre un 60 y un 85 por ciento, pero por motivos de costo de la energía eléctrica su utilización es muy limitada.

- Enfriamiento controlado. No sólo no se aprovecha el calor del vidrio fundido, sino que además debe aportarse energía para controlar dicho enfriamiento.

- Otros factores específicos de cada proceso en particular.

En definitiva, las pérdidas de calor inherentes a los procesos de fabricación actualmente utilizados, hacen que todavía se esté muy lejos del consumo teórico, y esto abre un margen de esperanza a las posibilidades de investigación de nuevas tecnologías.

En este trabajo se hace especial hincapié en los hornos de fusión, comentándose los factores que inciden en su consumo energético. Se indica asimismo la importancia de los balances de calor de los distintos equipos, como

base para programar planes de reducción de consumo a corto, mediano y largo plazo. Por último se menciona una serie de medidas encaminadas al ahorro energético, unas ya realizables y otras en fase de investigación y desarrollo.

### 3.1 PROCESOS DE FABRICACION DE FIBRA DE VIDRIO.

Existe una gran variedad de procesos de fabricación de vidrio, aunque algunas operaciones básicas son comunes a todos ellos.

Puede establecerse la siguiente clasificación:

Fabricación de vidrio hueco (envases).

Fabricación de vidrio prensado (vidrio de mesa, aisladores, etc.).

Fabricación de vidrio plano:

\* Sistema Estirado Vertical (Pittsburgh y Fourcault).

(Ver Fig. 3.1)

\* Sistema Estirado Horizontal (Libbey-Owens).

\* Sistema de Flotación. (Ver Fig.3.2)

\* Sistema de Laminación.

Otros procesos: fibra de vidrio, vidrio óptico, tubo de vidrio, vidrio artístico, etc.

La elaboración del vidrio comprende las siguientes operaciones:

Fig. 3.1 Proceso de Fabricación de Vidrio Plano Estirado. Sistema Pittsburgh.

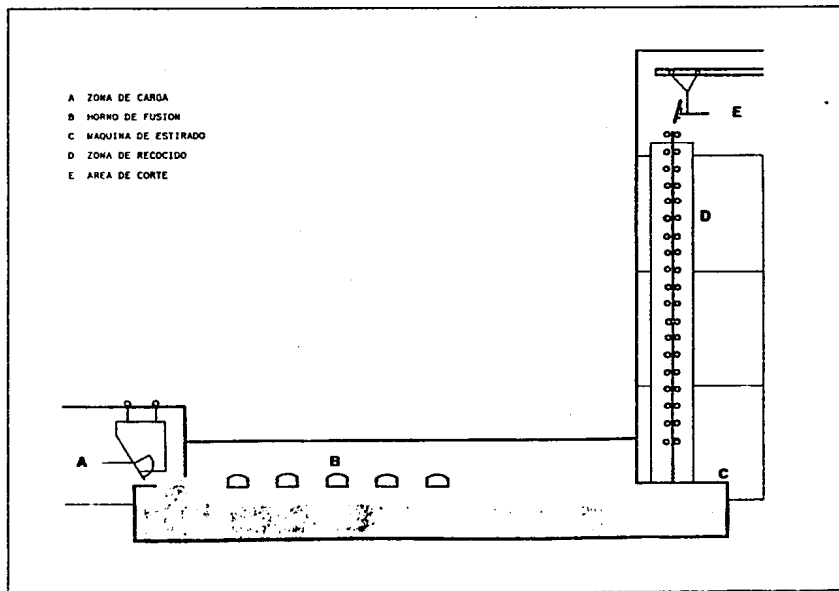
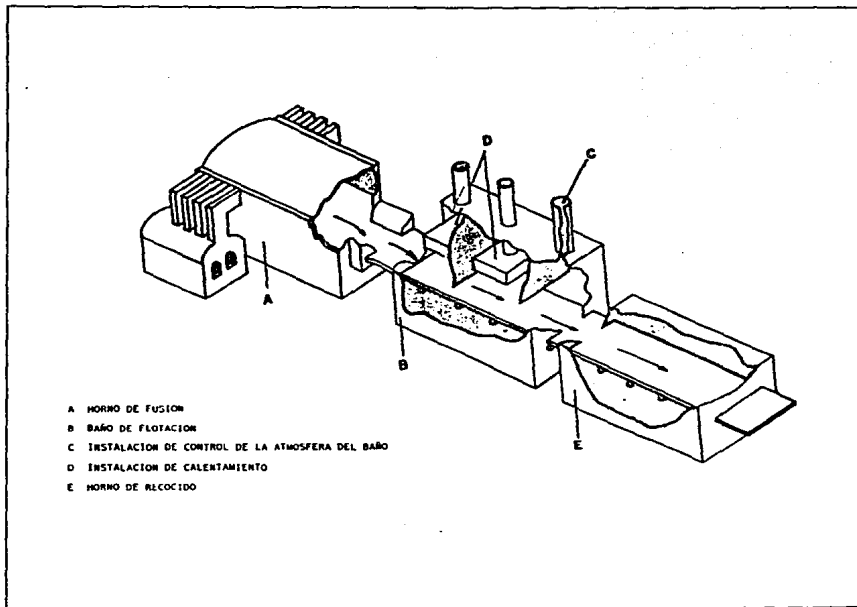


Fig. 3.2 Proceso de Flotación de Vidrio Plano Estirado. Sistema de Flotación.



**- Dosificación y mezcla**

Las materias primas con unas características de granulometría, humedad y propiedades químicas determinadas, se dosifican y mezclan con objeto de conseguir el tipo de vidrio deseado.

En esta operación básica se utiliza, fundamentalmente, energía eléctrica para accionamiento mecánico. En ciertos casos, se utiliza además un combustible con objeto de secar la arena.

**- Fusión, afinado, homogeneización y acondicionamiento.**

Las tres primeras operaciones se realizan en los hornos de fusión. El vidrio alcanza una temperatura máxima que se sitúa entre 1 500 y 1 600 °C. El calor necesario se aporta por combustión, con o sin apoyo eléctrico, o por efecto Joule entre electrodos sumergidos y masa.

El acondicionamiento, con el que se pretende lograr una correcta uniformidad de la temperatura y una viscosidad adecuada para la operación de conformado, se efectúa en la zona de trabajo en hornos de vidrio plano y en los canales de alimentación en hornos de vidrio hueco, vidrio prensado, fibra de vidrio, etc. Para ello se utiliza normalmente un combustible limpio, como puede ser el gas natural o el propano. En ciertos casos se utiliza energía eléctrica.

**- Conformado.**

Esta operación es característica de cada proceso. A continuación se describe someramente para los sistemas de fabricación más empleado.

#### Fabricación de vidrio hueco y vidrio prensado industrial.

Las gotas de vidrio caen en las máquinas de conformado, donde se consigue la forma final en una o dos etapas: Prensado en el caso de vidrio prensado; un primer prensado o soplado y un soplado final para vidrio hueco. En esta operación se consume energía eléctrica, aire comprimido y aire o agua para refrigeración. En ciertos casos, se utiliza además un combustible limpio.

#### Fabricación de vidrio plano según el sistema de estirado.

Existen dos sistemas: estirado vertical y estirado horizontal. En ambos, el vidrio fundido se hace pasar por unos rodillos con objeto de formar la lámina con un espesor determinado. En esta fase del proceso consume fundamentalmente energía eléctrica.

#### Fabricación de vidrio según el sistema de flotación.

El vidrio cae sobre un baño de estaño fundido, donde se producen los fenómenos de flotación y formación de la lámina en una atmósfera cuidadosamente controlada. Para la conducción del proceso, desde el punto de vista térmico, se dispone el baño en una instalación de resistencias eléctricas y dispositivos de refrigeración móviles.

#### Fabricación de vidrio plano según el sistema de laminación.

El vidrio se extrae del horno de fusión por el procedimiento de colada continua, siendo sometido a un proceso de laminación, cuya misión consiste en formar la lámina, darle el espesor deseado y grabar en la hoja un determinado dibujo o insertar una malla.



- Requemado.

Ciertos productos se someten a esta operación, destinada a eliminar los rebordes cortantes de vidrio, utilizándose para ello un combustible gaseoso. El consumo energético es elevado, ya que normalmente esta operación se efectúa en atmósfera abierta.

- Recocido, temple.

El producto, requemado o sin requemar, es sometido, bien al recocido, bien al temple. En ciertos casos, un mismo artículo pasa por los dos tratamientos térmicos.

En estas operaciones se utiliza o un combustible, o energía eléctrica, con fines térmicos.

- Acabado.

Estas operaciones tienen por objeto preparar el producto para su expedición. En ellas se utiliza, fundamentalmente, energía eléctrica y un pequeño porcentaje de combustible.

La mayor parte de las operaciones descritas anteriormente son comunes a todos los tipos de vidrio. No obstante, hay productos que no necesitan pasar por alguna de las fases citadas, y que son sometidos a alguna diferencia de las indicadas.

### 3.1.1 TIPOS DE HORNOS

En este apartado se describen principalmente los hornos, ya que son los equipos de mayor consumo energético.

-Hornos de fusión.

Atendiendo a la forma, modo de operación del horno y tipos de energía utilizada, puede establecerse la siguiente clasificación:

Hornos de crisol

Hornos de cuba convencionales

Hornos eléctricos

- Hornos de crisol

Este tipo de hornos consiste en una cámara de combustión, con la bóveda en forma de arcos, construida a base de materiales refractarios. Tiene aberturas laterales para acomodar varias piezas.

El ciclo típico comienza con la carga a mano de las piezas y un calentamiento hasta que vitrifica parcialmente la carga; entonces se añade una segunda y a veces una tercera carga. Cuando está completamente fundida se produce el afinado, después del cual se disminuye el flujo de combustible (o bien se corta), permitiendo que el vidrio se enfríe a la temperatura de trabajo.

En estos hornos puede utilizarse cualquier combustible, aunque la operación con recipientes abiertos requiere una cuidadosa selección del mismo, a fin de que

su contenido en azufre sea el mínimo posible.

Los hornos de crisol, siendo aún utilizados para pequeñas producciones o para ciertos tipos de vidrios, tienen un consumo específico de energía muy elevado. Ello es debido a los siguientes factores:

Operación discontinua.

La fusión requiere en la práctica tiempos muy largos, dado que se produce gradualmente desde el exterior de las paredes de la vasija hacia el interior de la carga.

Ausencia frecuente de sistemas de recuperación del calor sensible de los humos.

#### - Hornos de cuba convencionales

Estos hornos, normalmente son de forma rectangular, estando fundida en su interior. Pueden ser intermitentes o continuos.

Intermitentes.

La operación de los hornos intermitentes es similar a la de los de crisol, siendo idénticos sus periodos de funcionamiento. Su capacidad varía de 1 a 10 t. Aunque el consumo de combustible es similar o ligeramente inferior, la menor fragilidad del recipiente puede considerarse como una ventaja.

Continuos.

Estos hornos son similares a los anteriores. Estan formados por una cuba, donde se contiene el vidrio fundido, y una cámara de combustión por encima del baño, donde se produce la llama que calienta la carga. Pueden distinguirse dos partes: zona de fusión y zona de trabajo; ambas estan comunicadas normalmente mediante una garganta.

Aunque pueden utilizarse diversos combustibles, los más corrientes empleados son combustóleo, gas natural y gas pobre, utilizando también apoyo eléctrico.

Las corrosiones físicas y químicas, tanto del vidrio fundido a nivel de cuba como de volátiles de materias primas y flama a nivel de superestructura, obligan a la reconstrucción casi total de los materiales refractarios al final de la campana, que dura normalmente de 4 a 6 años.

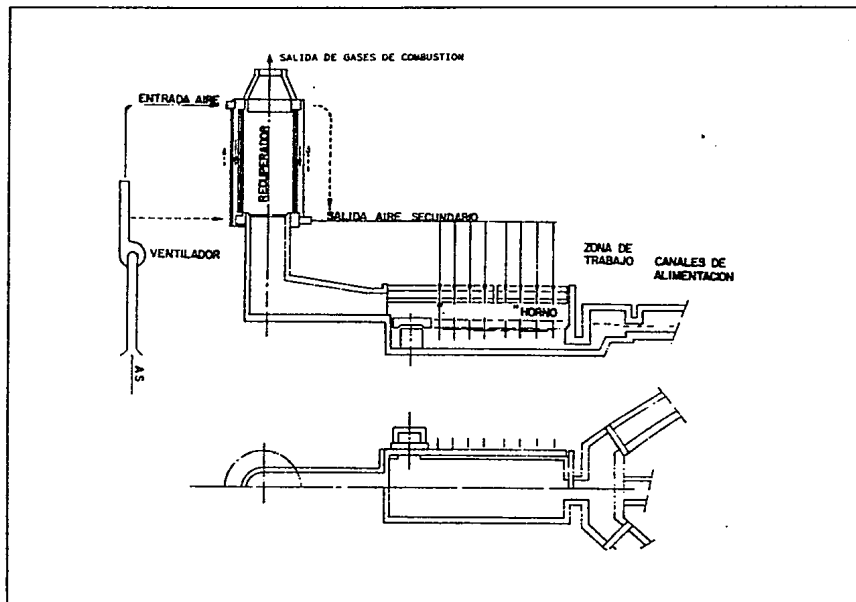
Según el procedimiento utilizado para precalentar el aire secundario de combustión, puede establecerse la siguiente clasificación de hornos de cuba convencionales:

a) Hornos con recuperadores.

Los recuperadores son cambiadores de calor en los cuales los gases de combustión y el aire secundario de combustión circulan, en paralelo o a contracorriente, en circuitos de tubo cerámicos o metálicos. (Ver Fig. 3.3)

La temperatura del aire secundario de combustión a la salida de los intercambiadores, oscila según el tipo de recuperadores, entre 650 y 950 °C. Por

Fig. 3.3 Esquema de un Horno de Vidrio con recuperador de calor.



Fuente: Estudios Energéticos de Cristalería Española.

su parte, la de los gases de combustión al abandonar el equipo de recuperación de calor, se situa entre 700 y 950 °C.

Estos hornos son especialmente aptos para extracciones diarias bajas y para la producción de vidrios de una calidad elevada.

b) Hornos con regeneradores.

El principio de la regeneración consiste en una inversión del paso de fluidos: aire de un lado, gases de combustión del otro, realizada cada 20 o 30 minutos. (Ver Fig. 3.4)

Los regeneradores son cámaras formadas por ladrillos refractarios, dispuestos simétricamente en cada lado del eje longitudinal de la cuba. En el interior de éstas pasan alternativamente los gases de combustión y el aire secundario de combustión. Estas cámaras tienen la función de absorber el calor de los gases de combustión en un primer tiempo y de restituirlo al aire en un segundo paso, alcanzando éste una temperatura, a la salida de las cámaras, que oscila entre 1 000 y 1 300 °C.

Existen dos tipos de hornos con regeneradores, según la forma de la flama:

- Hornos con regeneradores y flamas en espiral.

Se emplean en los procesos de fabricación de vidrio hueco, vidrio prensado y vidrios colados, para superficies de fusión de 20 a 80 m<sup>2</sup>. (Ver Fig. 3.5 y 3.6)

- Hornos con regeneradores y quemadores transversales.

Se emplea en los procesos de fabricación de vidrio hueco, vidrios colados

Fig. 3.4 Horno de Fusión de Vidrio con Regeneradores.

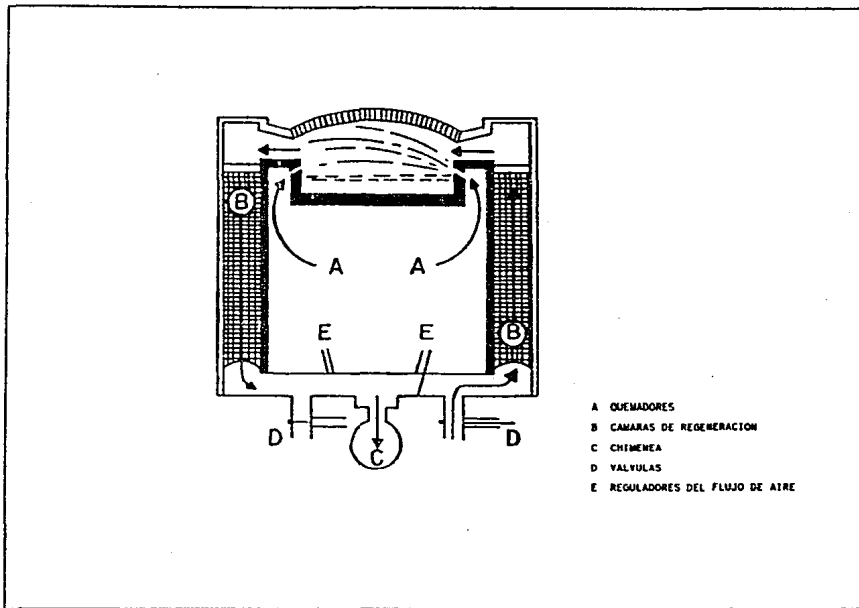
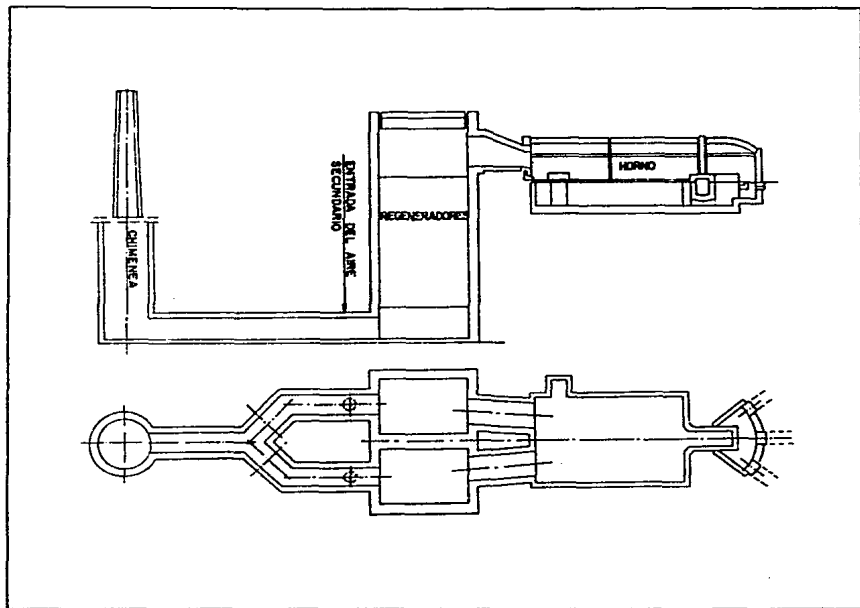


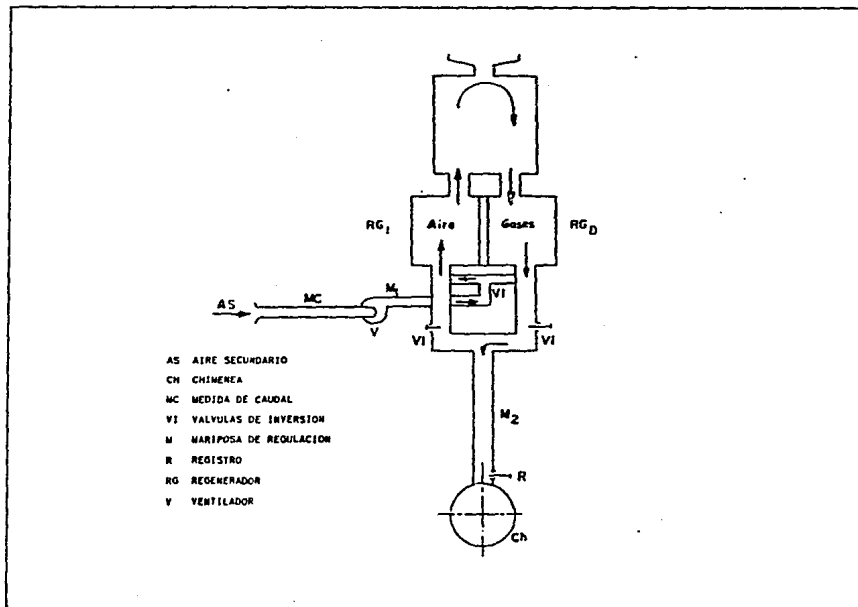
Fig. 3.5 Esquema de un Horno de Vidrio con Flamas en Espiral.



Fuente: Estudios Energéticos en Cristalería Española.



Fig. 3.6 Circuito de Gases en un Horno de Vidrio con Flamas en Espiral.



y vidrio plano, para superficies de fusión comprendidas entre 60 y 350 m<sup>2</sup>. (Ver Fig. 3.7 y 3.8)

**- Hornos eléctricos.**

La carga es introducida en el mismo mediante una tolva, especialmente diseñada, que la dispersa sobre la zona de fusión.

El calentamiento inicial se realiza mediante un combustible. Una vez que se alcanza la temperatura de 1 100°C aproximadamente, para la cual el vidrio se hace buen conductor, se corta el suministro de combustible y comienza a utilizarse la energía eléctrica. El calor necesario para la fusión se obtiene, por efecto Joule, mediante unos electrodos sumergidos, normalmente de molibdeno.

La capacidad de producción oscila entre 1 y 150 t/día, situándose la extracción específicamente entre 3 y 7 t/m<sup>2</sup>día.

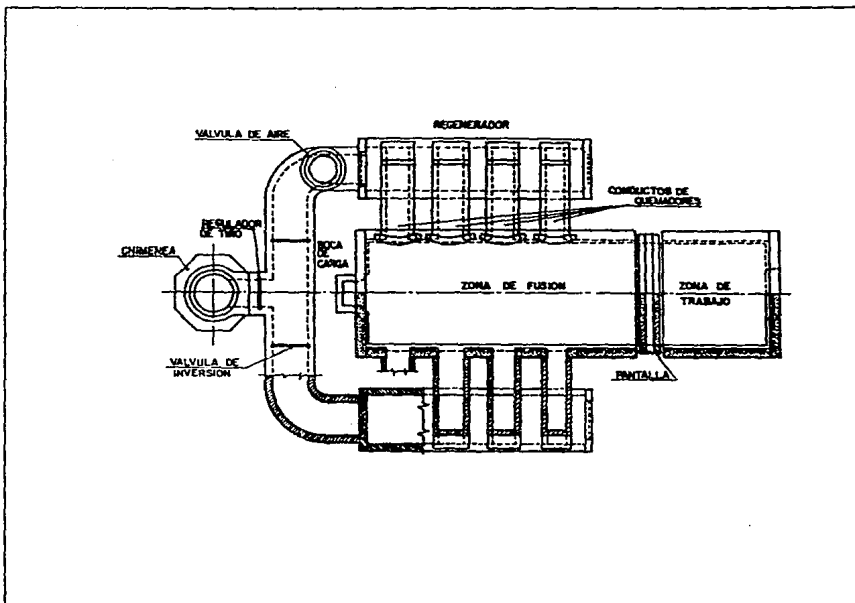
El consumo de energía eléctrica con fines térmicos varía, según el tamaño de los hornos, entre 800 y 1 200 kWh por cada tonelada de vidrio fundido.

Estos hornos pueden utilizarse para cualquier tipo de vidrio. Sin embargo, dado que en la actualidad, el costo de la energía eléctrica es bastante superior a la correspondiente de los combustibles normalmente utilizados, se emplean para ciertos vidrios especiales. (Ver Fig. 3.9, 3.10)

**-Hornos de recocido y temple**

Estos se reconstruyen íntegramente de metal, con aislamientos, dividiéndose

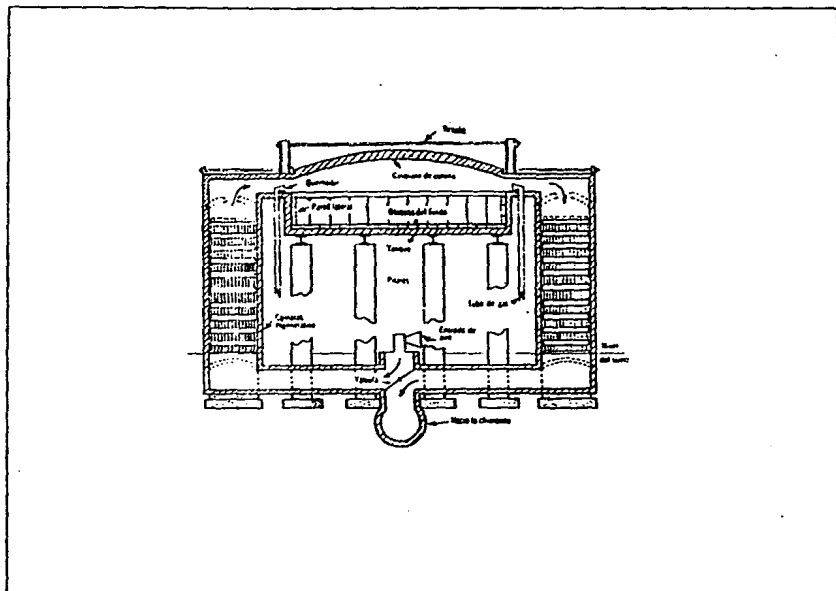
Fig. 3.7 Esquemas de un Horno de Vidrio con Quemadores Transversales.



Fuente: Handbook of Glass Manufactured.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Fig. 3.8 Corte Transversal de un Horno de Tanque para Vidrio en el que se muestran las Cámaras Regeneradoras.



Fuente: Perry's Chemical Engineers Handbook.

Fig. 3.9 Horno de Fusión de Vidrio Convencional con Apoyo Eléctrico.

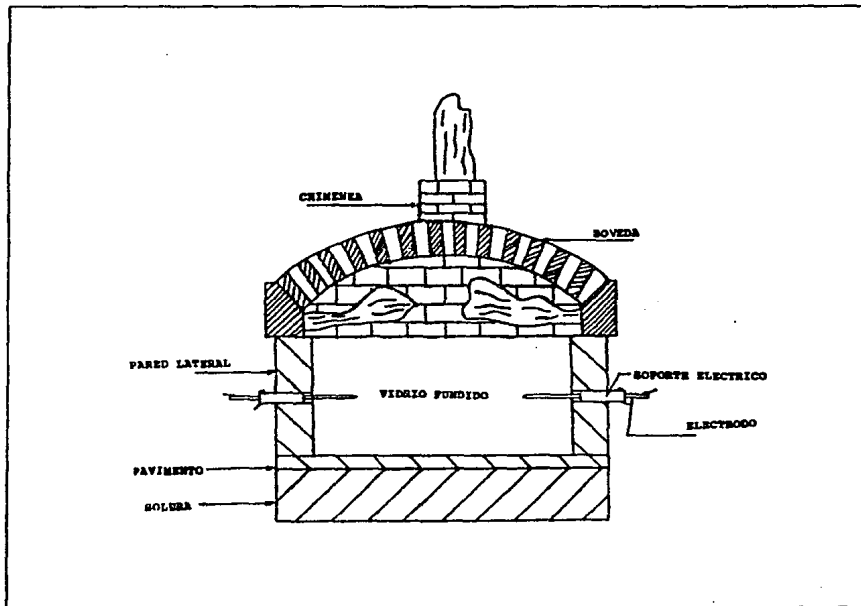
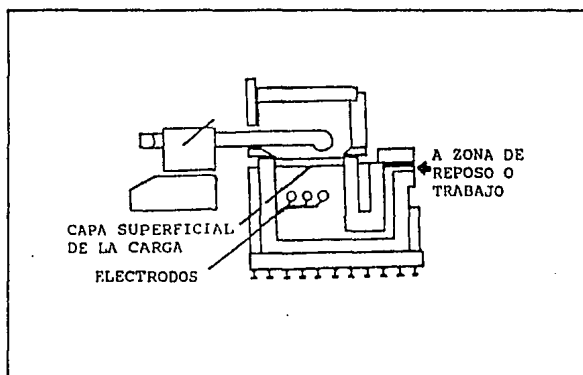
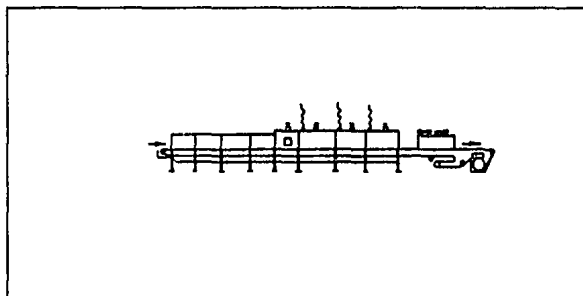


Fig. 3.10 Esquema de un Horno Eléctrico de Fusión de Vidrio.



Fuente: Use of Electricity in the Glass Melting Process.

Fig. 3.11 Horno de Recocido y Temple para Productos Vitreos.



Fuente: Energy Saving in the Glass Container. Production Process now and in the future.

su longitud en tres secciones principales:

- Un número de zonas destinadas a calentar el producto de modo uniforme por encima de la temperatura superior de recocido (560°C aproximadamente), y mantenerlos un cierto tiempo a esa temperatura con objeto de eliminar las tensiones internas.

- Zonas de enfriamiento lento, destinadas a evitar la creación de nuevas tensiones.

- Zonas de enfriamiento rápido, a partir de una temperatura algo inferior de recocido, para que la carga pueda ser llevada a la zona de descarga.

En el caso de productos templados, la primera fase consiste en un calentamiento, que puede llegar en ciertos casos hasta 750 °C aproximadamente, destinados a lograr una uniformidad de la temperatura. En la siguiente, se pretende generar y distribuir convenientemente tensiones en el producto, lo cual se consigue enfriándolo rápidamente.

La combustión se realiza, bien con gas directamente, o bien instalando tubos radiantes. Bajo el punto de vista energético es mejor el primero de los procedimientos.

En ciertos hornos se utiliza energía eléctrica, con fines térmicos, en lugar de combustibles. (Ver Fig. 3.11)

### 3.2 UTILIZACION DE LA ENERGIA EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE PIRRA DE VIDRIO.

#### Consumos especificos

En la industria del vidrio se utilizan normalmente dos tipos de fuente energética, combustibles y energía eléctrica.

Se define el consumo específico de una instalación como la energía total procedente del exterior que se consume en la fabricación de una tonelada de un determinado producto.

Este parámetro se desglosa, normalmente, en dos conceptos:

- Consumo específico eléctrico (kWh/t)
- Consumo específico de combustibles (Kcal/t)

Los valores de los consumos específicos dependen de muchos factores: materias primas utilizadas, tipo de producto, equipos empleados, funcionamiento continuo o discontinuo, rechazos de producción, etc.

Igualmente, la importancia relativa de los consumos eléctricos y de combustibles, con relación al consumo específico total, es función, además, de la mayor o menor utilización de hornos de fusión con apoyo eléctrico, hornos totalmente eléctricos, hornos de recocido y temple eléctricos, etc.

Los campos de variación de los hornos con recuperadores y de los hornos regeneradores y quemadores transversales son más amplios, por los siguientes motivos:

- Hay hornos con ciertos tipos de recuperadores con los que se consiguen



temperaturas de aire secundario a la salida de los mismos del orden de 950 °C, mientras que en otros, esta temperatura es de 650°C aproximadamente.

- Por lo que se refiere a los hornos con regeneradores y quemadores transversales, los consumos más bajos se refieren a productos incluidos en vidrio hueco, vidrios colados, etc. En estos hornos se consiguen extracciones altas (unas 3 t/m<sup>2</sup>día, e incluso más en la actualidad). Los consumos más altos corresponden a ciertos hornos de vidrio plano, en algunos de los cuales la extracción es baja (inferior a 0.7 t/m<sup>2</sup>día).

Los consumos específicos de los hornos de crisol son muy superiores a los anteriores. El campo de variación es muy amplio, dependiendo mucho de que tenga o no recuperador

### 3.3 FACTORES CONDICIONANTES DEL CONSUMO DE ENERGIA EN EL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO.

Se hace referencia fundamentalmente a los hornos de cuba continuos convencionales, ya que la mayor parte de los hornos de fusión instalados en la actualidad son de este tipo.

El consumo de energía en dichos equipos depende de muchos factores, de los cuales se enumeran a continuación los más importantes:

Extracción nominal

Factor de carga

Envejecimiento

Temperatura del aire secundario

Relación aire/combustible

Aislamiento

Porcentaje de casco de vidrio

Otros: Profundidad de la cuba, diseño de los conductores de quemadores, calidad de pulverización del combustible, control de la atmósfera del horno, forma de cargar la composición, temperatura de la flama, etc.

- Efecto de la extracción

Se entiende por extracción nominal, el cociente:

$$\frac{\text{Capacidad de producción (t/día)}}{\text{Superficie de fusión (m}^2\text{)}}$$

La extracción nominal se establece en base al tipo de color del vidrio que se quiere fabricar y a las necesidades del mercado. En vidrio hueco, por ejemplo, los hornos utilizados para frascos tienen una extracción menor que los destinados a envases corrientes. La causa radica, por una parte, en las necesidades de que el vidrio permanezca en la zona de reposo más tiempo del requerido para los otros productos, con objeto de conseguir la calidad deseada, y por otra al menor peso de los productos.

En vidrio plano -flotado o estirado- la extracción es aún menor que en el caso de frascos, debido a la alta calidad que se exige en el producto en cuanto a oclusiones, planicidad, uniformidad en el espesor, etcétera.

En los vidrios colados no se exige la calidad de los anteriores, razón por la cual la extracción es mucho mayor.

**- Efecto de la carga del horno**

Se define el factor de carga como el cociente entre la extracción real de vidrio fundido y la nominal.

Los hornos se dimensionan para una determinada extracción nominal. Si se hace funcionar al horno por encima o por debajo de ese valor nominal, el consumo específico de energía aumenta.

**- Efecto del envejecimiento del horno**

A medida que el horno envejece el grosor del ladrillo refractario de las paredes va disminuyendo, con lo que las pérdidas a través de las mismas van aumentando. Además, llega un momento en el que se hace necesaria la refrigeración de la cuba, incrementándose, por tanto, las pérdidas caloríficas. Asimismo, la eficacia de las cámaras de regeneración y de los recuperadores desciende con el tiempo, siendo este efecto más acusado en las primeras. En todo caso, el efecto del envejecimiento depende del aislamiento que tenga el horno, y de si se mantiene con el tiempo o hay que quitarlo para no acelerar el desgaste.

**- Efecto de la temperatura del aire secundario de combustión**

Un aumento en la temperatura del aire de combustión supone una reducción del consumo energético, ya que el propio aire aporta calor al horno. Además, de este modo, se incrementa la temperatura de la flama, con lo cual se favorece la transferencia de calor al vidrio.

**- Efecto de la relación aire/combustible**

La proporción aire/combustible tiene una notable influencia sobre el consumo de energía, ya que el aire en exceso supone una pérdida adicional de combustible. Ello es debido, por una parte, a que se incrementan las pérdidas de calor en los gases de combustión, y por otra, a la reducción de la temperatura de la flama.

**- Efecto del aislamiento térmico**

Es evidente que aislando un horno las pérdidas de las paredes disminuyen, y ello se traduce en una reducción del consumo específico de energía.

Las posibilidades de aislamiento dependen de la calidad de los refractarios. Efectivamente, a medida que se incrementa el espesor y/o calidad del aislamiento, la temperatura media del refractario aumenta, pudiendo llegar a su deterioro. Cada material refractario tiene, pues, una temperatura límite de empleo.

**- Efecto del porcentaje de casco de vidrio en la carga**

En la medida en que dicho porcentaje aumente, el consumo específico de energía disminuye.

Las principales causas de esta reducción son:

- El calor de reacción y calor latente de fusión descienden.

- La temperatura de fusión del casco de vidrio será menor
- El volumen de los gases de combustión será menor, dado el consumo de combustible se reduce.

**- Otros efectos**

Además de los citados anteriormente, hay otros factores que influyen en el consumo energético de los hornos de fusión, como son: la profundidad de la cuba, el diseño de los conductos de quemadores, la calidad de pulverización de combustible, etc. Asimismo, debe señalarse la interdependencia que existe entre algunos de los factores condicionantes del consumo energético.

#### **4. APLICACION DE LA METODOLOGIA DE UNA AUDITORIA ENERGETICA A UN CASO REAL EN LA INDUSTRIA DE FIBRA DE VIDRIO**

---

Como se mencionó anteriormente en el Balance Nacional de Energía, la industria del vidrio en 1992 tuvo un aumento en el consumo de energía del 4.7 por ciento con respecto al consumo de 1991, por lo que es necesario que se realicen estudios cuidadosos sobre el uso racional de energía en este sector.

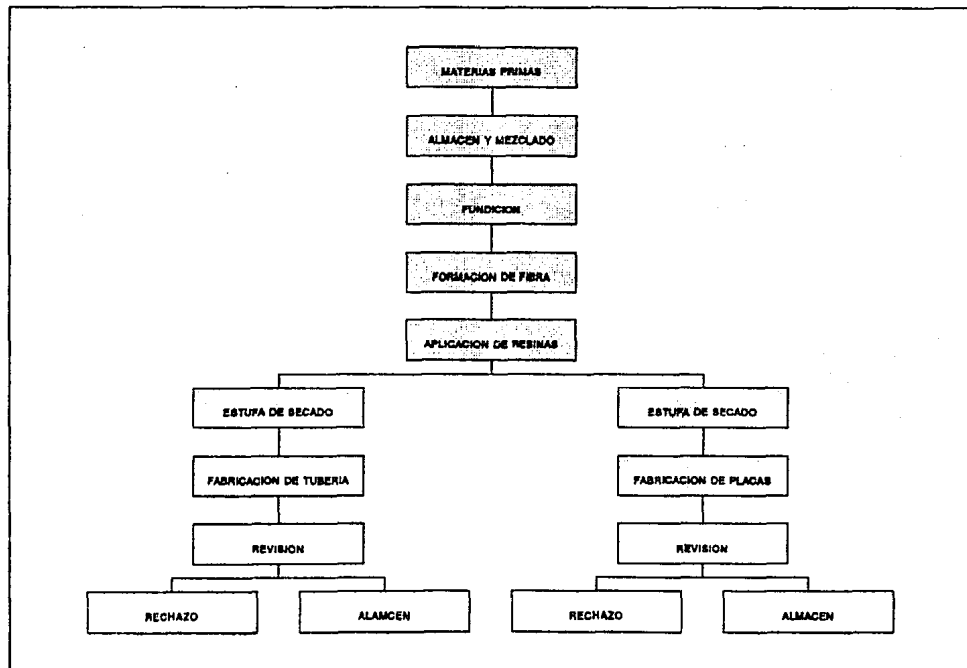
La empresa, objeto de este estudio, produce Fibra de Vidrio para la fabricación de placas térmicas y acústicas para hornos, estufas, techos y tuberías; consideramos que a nivel nacional es representativa para ejemplificar la industria del vidrio, por lo que se aplicará la auditoría a esta empresa. A continuación se presenta un Diagrama General del Proceso Típico de Producción de Fibra de Vidrio (Figs. 4.1 y 4.2).

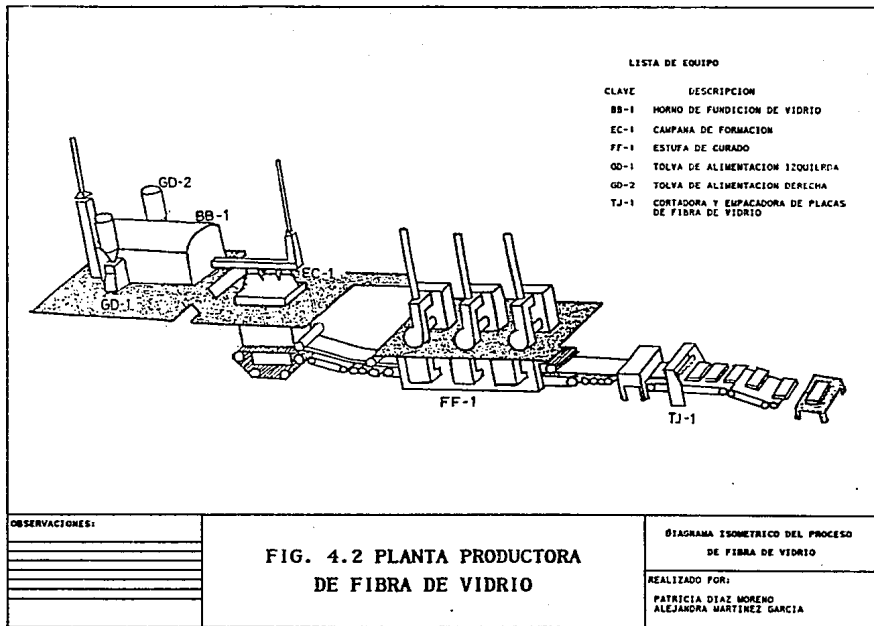
##### **4.1 SELECCION DEL TIPO DE AUDITORIA APLICADA.**

Debido a que anteriormente no se han aplicado estudios energéticos en esta empresa, se aplicarán como primera etapa Auditorías de Primero y Segundo Grado para obtener los siguientes parámetros:

- \* Identificar los potenciales visuales de ahorro y los derivados de los balances de masa y energía.
- \* Precisar medidas de ahorro energético a corto y mediano

**Fig 4.1 Proceso de Fibra de Vidrio**





**LISTA DE EQUIPO**

CLAVE	DESCRIPCION
BB-1	MORNO DE FUNDICION DE VIDRIO
EC-1	CAMPANA DE FORMACION
FF-1	ESTUFA DE CURADO
GD-1	TOLVA DE ALIMENTACION IZQUIERDA
GD-2	TOLVA DE ALIMENTACION DERECHA
TJ-1	CORTADORA Y EMPACADORA DE PLACAS DE FIBRA DE VIDRIO

OBSERVACIONES:


**FIG. 4.2 PLANTA PRODUCTORA DE FIBRA DE VIDRIO**

DIAGRAMA ISOMETRICO DEL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO

REALIZADO POR:  
PATRICIA DIAZ MORENO  
ALEJANDRA MARTINEZ GARCIA



plazo.

- \* Las inversiones involucradas en las medidas de ahorro energético derivadas de estas auditorías son menores a las inversiones que se derivan de una Auditoría de Tercer Grado, la cual podría realizarse como segunda etapa.
- \* No se requiere de equipo especializado de medición y control.
- \* Involucrar y concientizar al personal en la cultura energética.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FIBRA DE VIDRIO.

El proceso de fabricación de fibra de vidrio es la conversión a alta temperatura de materias primas en una masa candente homogénea, seguida por la extracción como fibra de vidrio.

La línea de Producción de Fibra de Vidrio se divide en cuatro áreas (Fig. 4.3):

- A. Materias Primas
- B. Horno de Fundición de Vidrio
- C. Campana de Formación
- D. Estufa de Curado

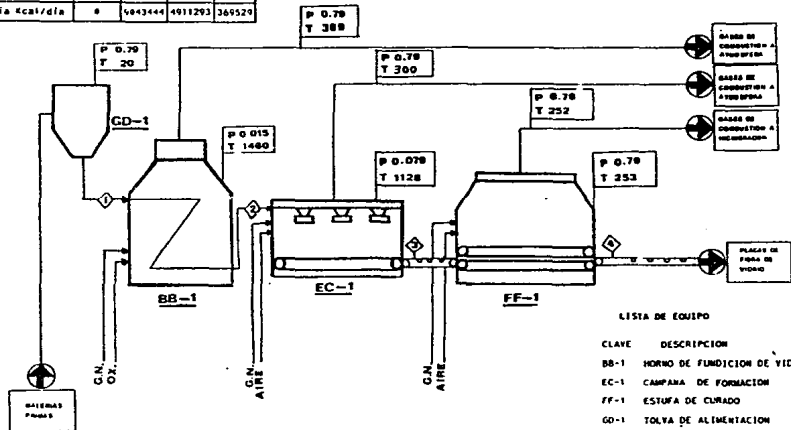
A continuación se describen cada una de estas áreas.

##### A. Materias Primas.

En esta área se reciben las materias primas a granel. Se descargan por métodos neumáticos. De ahí se pesan y mezclan completamente para enviarlas

CORRIENTE VARIABLES	1	2	3	4
FLUJO Kg/día	28821	27505	21737	18477
P Kg/cm <sup>2</sup>	0.79	3E-5	0.79	0.79
T °C	26	1800	1141	158
Energía Kcal/día	8	5043444	4911293	369529

NOTA:  
 1 P en Kg/cm<sup>2</sup> man y T °C  
 2 P en barros BB-1 H<sub>2</sub>O  
 3 Ver detalle del Horno Pila 4.8  
 4. T<sub>f</sub> 1565°C



#### LISTA DE EQUIPO

CLAVE	DESCRIPCION
BB-1	HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO
EC-1	CAMPANA DE FORMACION
FF-1	ESTUFA DE CURADO
GD-1	TOLVA DE ALIMENTACION

OBSERVACIONES:


FIG. 4.3 PLANTA PRODUCTORA  
DE FIBRA DE VIDRIO

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO  
DE FIBRA DE VIDRIO

REALIZADO POR:

PATRICIA DIAZ MORENO  
ALEJANDRA MARTINEZ GARCIA

#### al Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

La materias primas típicas son las siguientes:

Oxido de Silicio	$SiO_2$
Oxido de Aluminio	$Al_2O_3$
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot H_2O$
Dolomita	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$
Carbonato de Sodio	$Na_2CO_3$
Sulfato de Sodio	$Na_2SO_4$

#### B. Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

En el Horno de Fundición de Vidrio BB-1 se carga la materia prima que es transformada en vidrio fundido. El horno se calienta a temperaturas de 1 500 a 1 560 °C. Dentro del horno el vidrio se mezcla por convección natural y por inyección de aire en el piso.

#### C. Campana de Formación EC-1.

En esta área se forman las fibras de vidrio, esta operación se lleva a cabo de la siguiente manera:

El vidrio líquido proveniente del Horno de Fundición de Vidrio BB-1 se transporta a través de un canal térmicamente aislado, de ahí se extrae el vidrio por un proceso centrífugo de un conjunto de platos giratorios con orificios (Fiberizers), que crean fibras de vidrio que posteriormente son rotas por una corriente de aire comprimido, en las cuales se les agrega una mezcla de resinas atomizadas (Binder). La resina recubre a la fibra de vidrio con el propósito de dar propiedades específicas de dureza, conductividad

térmica y resistencia a la fibra.

El tipo de resina (aldehídos y fenoles) agregada varía de acuerdo con el producto final que se vaya a obtener, ya que las placas de fibra de vidrio que se producen son de dos tipos: acústicas o térmicas.

Posteriormente, las fibras son succionadas por un sistema de extracción que provoca una diferencia de presiones que permite depositar las fibras sobre una banda metálica, formando así, un colchón de fibra de vidrio.

#### D. Estufa de Curado FF-1.

Finalmente, en la Estufa de Curado FF-1 se polimeriza y evapora la resina y el agua contenida en el colchón de fibra de vidrio.

Este proceso consiste en someter el colchón de fibra de vidrio, proveniente de la Campana de Formación EC-1, a una temperatura de 260 °C. El calentamiento se obtiene por recirculación de aire caliente a través de la fibra de vidrio. Simultáneamente, el colchón pasa entre un par de bandas metálicas que a presión lo compactan.

Al salir la fibra de vidrio de la Estufa de Curado FF-1, lo hace en forma de placas compactas que son cortadas y empacadas directamente.

#### 4.3 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO.

Para realizar la evaluación global, se tomaron los principales datos de operación del proceso de producción. La recopilación de estos datos se muestran en el Diagrama de Flujo de Proceso (Fig. 4.3).

### Condiciones de Operación.

Una fase importante dentro de la auditoría, es la toma de datos de operación de cada equipo con la instrumentación existente. La realización de esta actividad, además de formar parte de la información para el estudio energético, representa una fuente de información para posteriores evaluaciones de los equipos.

Para cada uno de los equipos se realizaron las siguientes actividades:

- \* Medición de la temperatura de los gases de combustión.
- \* Medición de presión, temperatura y flujos, tanto a la entrada como a la salida de las corrientes.
- \* Determinaciones de gases de combustión ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ) de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-AA-09-1973, NOM-AA-54-1978.
- \* Determinación de temperaturas en las paredes de los equipos mediante un pirómetro digital.

En las siguientes Hojas de Operación se muestran las condiciones de funcionamiento de cada equipo.

### Cambios Operacionales en el Proceso.

#### Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

En 1992 se cambio el sistema de combustión gas natural-aire por el sistema gas natural-oxígeno instalando quemadores de premezcla tipo eyector.

El cambio de aire a oxígeno tuvo un ahorro en el uso de gas natural del 54.34 por ciento y una reducción de contaminantes, principalmente óxidos de azufre.

<b>PLANTA:</b>	<b>LOCALIZACION:</b>		
FIBRA DE VIDRIO	MEXICO, D.F.		
<b>EQUIPO:</b>	HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO BB-1		
<b>SERVICIO:</b>	PRODUCCION Y FUNDICION DE VIDRIO		
<b>TIPO:</b>	CUBA CONVENCIONAL		
<b>CONDICIONES DE OPERACION ACTUALES</b>			
	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA
FLUIDO DE PROCESO		MEZCLA DE ARENA	VIDRIO FUNDIDO
FLUJO TOTAL	Kg/h	1201	1146
CAPACIDAD ESPECIFICA	Kcal/Kg°C		0.287
TEMPERATURA	°C	20	1009
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	0.7954	0.7954
		GAS NATURAL	OXIGENO
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	6000	11613
TEMPERATURA	°C	20	20
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	1	1.4
PCI	Kcal/m <sup>3</sup>	8460	Exceso %: 11.3
<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>			
CAPACIDAD MAXIMA	Kg/h	1666	
TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE EN LA BOVEDA	°C	1500	
TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE EN AREA DE FUNDICION	°C	1100	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR UNIDAD DE PRODUCCION	Kcal/Kg	377	
PRESION ESTATICA	* H <sub>2</sub> O	0.015	
		GAS NATURAL	OXIGENO
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	30	350
COMPOSICION CH <sub>4</sub>	% mol	92	Exceso %: 10
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	% mol	4	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	% mol	2	
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> y PESADOS	% mol	2	
EFICIENCIA	%	60	

<b>PLANTA:</b>	<b>LOCALIZACION:</b>		
FIBRA DE VIDRIO	MEXICO, D.F.		
<b>EQUIPO:</b>	CAMPANA DE FORMACION EC-1		
<b>SERVICIO:</b>	FORMAR FIBRAS DE VIDRIO		
<b>CONDICIONES DE OPERACION ACTUALES</b>			
	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA
FLUIDO DE PROCESO		VIDRIO FUNDIDO	FIBRA DE VIDRIO
FLUJO TOTAL	Kg/h	1146	1146
CAPACIDAD ESPECIFICA	Kcal/Kg°C	0.287	0.16
TEMPERATURA	°C	1009	1141
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	0.795	0.795
		GAS NATURAL	AIRE
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	21.75	239.25
TEMPERATURA	°C	20	20
PRESION	Kg/cm	0.35	0.89
PCI	Kcal/m <sup>3</sup>	8460	Exceso %: 32.71
<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>			
CAPACIDAD MAXIMA	Kg/h	1458.3	
TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE	°C	1500	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR UNIDAD DE PRODUCCION	Kcal/Kg	178.6	
		GAS NATURAL	AIRE
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	30	323
COMPOSICION CH <sub>4</sub>	% mol	92	Exceso %: 30
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	% mol	4	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	% mol	2	
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> y PESADOS	% mol	2	
EFICIENCIA	%	60	

<b>PLANTA:</b>		<b>LOCALIZACION:</b>	
FIBRA DE VIDRIO		MEXICO, D.F.	
<b>EQUIPO:</b> ESTUFA DE CURADO FF-1			
<b>SERVICIO:</b> EVAPORAR AGUA Y RESINA			
<b>CONDICIONES DE OPERACION ACTUALES</b>			
	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA
FLUIDO DE PROCESO		FIBRA DE VIDRIO	PLACAS DE F.DE V.
FLUJO TOTAL	Kg/h	905.7	769.8
CAPACIDAD ESPECIFICA	Kcal/Kg °C	0.16	0.16
TEMPERATURA	°C	30	150
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	0.795	0.795
		GAS NATURAL	AIRE
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	31.25	343.7
TEMPERATURA	°C	20	20
PRESION	Kg/cm	0.35	0.89
PCI	Kcal/m <sup>3</sup>	8460	Exceso %: 29.52
<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>			
CAPACIDAD MAXIMA	Kg/h	1250	
TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE	°C	500	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR UNIDAD DE PRODUCCION	Kcal/Kg	37.7	
PRESION ESTATICA	* H <sub>2</sub> O	0.015	
		GAS NATURAL	AIRE
CONSUMO	m <sup>3</sup> /h	32	375
COMPOSICION CH <sub>4</sub>	% mol	92	Exceso %: 30
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	% mol	4	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	% mol	2	
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> y PESADOS	% mol	2	
EFICIENCIA	%	70	



Para tener un mejor control de los gases contaminantes, se instalaron equipos de control:

El horno emite gases de combustión que contienen:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , además de partículas como:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , que son partículas menores de  $5\mu$ . Para el control de estas emisiones se instaló un lavador de gases tipo Venturi con una eficiencia del 90 por ciento.

**Hatufa de Curado FF-1.**

En ésta área los contaminantes son partículas de fibra de vidrio y productos de polimerización (aldehidos y fenoles) además de los gases de combustión, para el control de estas emisiones se instaló una campana colectora que los conduce hasta un incinerador, el cual oxida totalmente estos subproductos, evitando así que sean emitidos a la atmósfera.

**Localización de los equipos con mayores consumos energéticos.**

De la inspección visual realizada y considerando el proceso de producción como un sistema que recibe energía proporcionada por gas natural y energía eléctrica (Fig. 4.4 y 4.5), se detectó que el equipo de mayor consumo es:

\* Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

**Instrumentación en General.**

En el Horno de Fundición BB-1 existen medidores de presión, temperatura y flujo para los corrientes de entrada.

Las temperaturas interiores y exteriores de las paredes del horno se miden

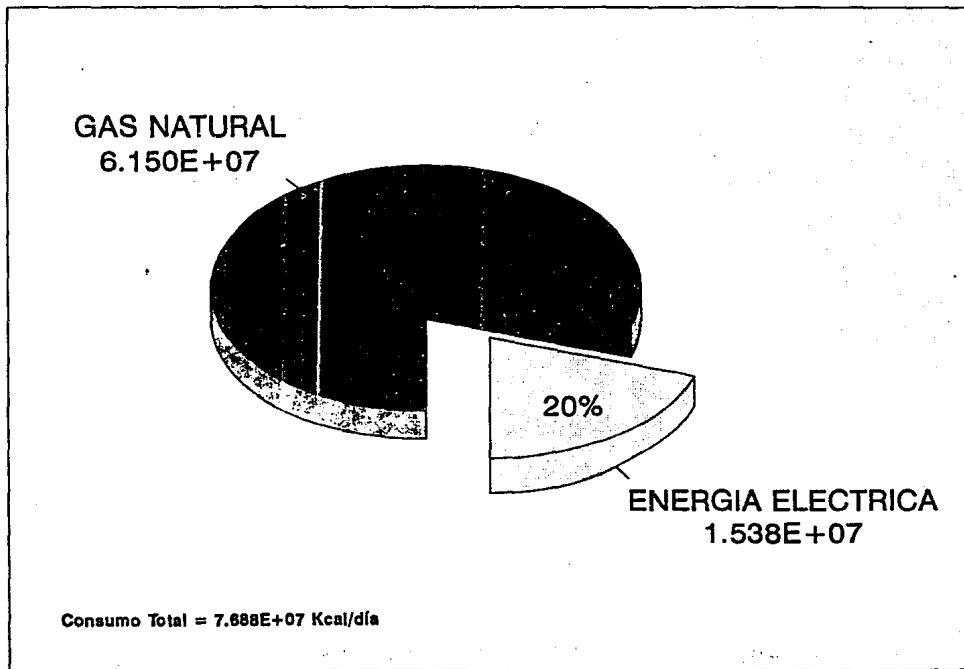
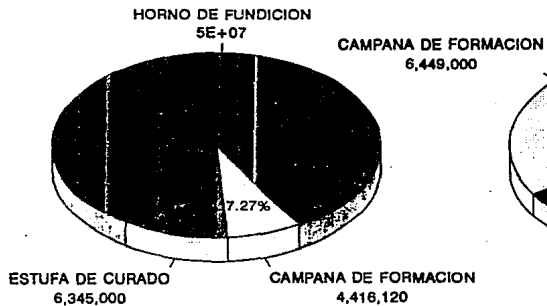


Fig. 4.4 Consumo de Energía en el Proceso de Producción de Fibra de Vidrio

## GAS NATURAL

Consumo Total =  $6.1521E+07$  Kcal/día



## ENERGIA ELECTRICA

Consumo Total =  $1.5354E+07$  Kcal/día

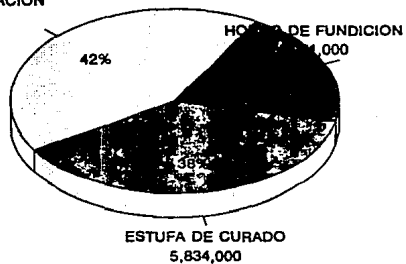


Fig. 4.5 Consumo Total de Energía por Equipos

mediante un pirómetro digital mensualmente.

Periódicamente se realizan análisis de los gases de combustión con equipo portátil (Orsat).

La Campana de Formación EC-1 cuenta con medidores de presión, temperatura y flujo del combustible, para el caso del aire no se tiene un medidor exacto; por lo que los operadores procuran mantener a su criterio una relación de suministro de combustible-aire cercana a la recomendada de 1:11 que permite tener una cantidad mínima de exceso de aire.

En cuanto a la Estufa de Curado PF-1, se tienen mediciones irregulares del consumo de gas natural debido a que el medidor existente está instalado antes de un cabezal que distribuye el gas natural a la estufa y al incinerador de gases de combustión.

Como ocurre en la Campana de Formación EC-1, los operadores procuran mantener la relación 1:11 del sistema gas natural-aire.

#### **Obtención de Consumos Energéticos: Servicios Auxiliares**

La Tabla 4.1 muestra los consumos específicos de cada servicio auxiliar en cada equipo del proceso a condiciones actuales de operación.

La cuantificación de Energía Eléctrica se hace de manera global, pues no existen medidores de consumo por secciones en el proceso. La empresa conoce sus consumos eléctricos a través de las facturas de la Compañía de Luz.

Se registró la demanda instantánea de electricidad de la planta cada 30 minutos durante dos turnos. La Tabla 4.2 muestra los consumos promedio de cada área del proceso.

Tabla 4.1 Consumos específicos por servicio auxiliar.

SERVICIO AUXILIAR	CONSUMO m <sup>3</sup> /día
<b>GAS NATURAL</b>	
Horno de fundición de Vidrio BB-1	6 000
Campana de Formación EC-1	522
Estufa de Curado FF-1	750
<b>O X I G E N O</b>	
Horno de Fundición de Vidrio BB-1	11 613
<b>A I R E</b>	
Campana de Formación EC-1	5 742
Estufa de Curado FF-1	8 250

Tabla 4.2 Consumo promedio de energía eléctrica

EQUIPO	CANTIDAD	HP	AMPERAJE	KW
<b>MATERIAS PRIMAS</b>				
Molinos	3	3	4.40	7.00
Revolvedoras	1	10	9.33	6.40
Compresores de Silos	1	60	52.33	35.85
<b>HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO BB-1</b>				
Tolvas	2	25	5.46	6.4
Ventiladores :				
Bóveda	1	20	19.66	15.6
Paredes	1	20	22.19	13.5
Anticontaminante	1	100	67.33	46.2
Bomba de Agua	2	15	12.80	16.8
		10	11.60	
<b>CAMPANA DE FORMACION EC-1</b>				
Motor de Fiberizer	2	50	26.33	35.8
Ventilador	3	2-10	2-101	277.5
		20	203	
<b>ESTUFA DE CURADO</b>				
Motores:	3	2-50	26.30	54.5
Transmisión General	1	100	65	45
Recirculación	1	20	20.66	15
Anticontaminante	1	300	245	168

### **Localización de Fugas.**

Se detectaron pérdidas en las paredes externas del horno a través de un pirómetro que reportó temperaturas entre 300-500 °C, esta variación se debe a que hay zonas de ladrillo refractario deterioradas y rebasan su tiempo de vida media la cual es de 4 años, sin embargo este ladrillo tiene una operación continua de 6 años.

### **Programa de Mantenimiento.**

Cada cuatro años en promedio y dependiendo de las facilidades que la operación permita se realiza mantenimiento correctivo en el cual se suspende el proceso de producción por tres meses aproximadamente.

Las actividades que se realizan son las siguientes:

- \* Cambio de ladrillo refractario tanto del horno como del canal que lleva el vidrio hasta los platos giratorios (fiberizers).
- \* Limpieza y reparación (si es necesario se hacen cambios por partes nuevas) de:

Quemadores	Anillos espreadoras
Platos giratorios	Bandas Transportadoras
Sistemas de Succión	Instrumentación

### **4.4 BALANCES DE ENERGIA. DIAGRAMA DE SANKEY**

El Balance de Energía se realizó de acuerdo al Procedimiento Matemático descrito en la sección 2.4, considerando el sistema que se muestra en la Fig. 2.3.

## HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO EE-1.

### ENERGIA SUMINISTRADA.

#### Calor Sensible del Combustible:

El horno de fundición consume 6 000 m<sup>3</sup>/día de gas natural teniendo una temperatura en el hogar de 1465 °C, las características del gas que provee PEMEX son las siguientes:

Tabla 4.3 Características del gas natural.

CARACTERISTICAS	VALOR
Peso Específico (15.6°/15.6°)	0.608
Metano CH <sub>4</sub>	92.6
Etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6.1
Propano C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.3
Acido Sulfúrico (ppm)	35.0
Peso Molecular	17.21
Poder Calórico (Kcal/m <sup>3</sup> )	8460

Para conocer el número de moles alimentados de gas natural a 20 °C y presión absoluta de 1.79 Kg/cm<sup>2</sup> es necesario emplear la siguiente expresión:

$$P V = n R T \quad (37)$$

por lo tanto:

$$n_{\text{comb}} = 433.58 \text{ Kmoles/día}$$

$$G_{\text{comb}} = 7469.68 \text{ Kg/día}$$

A las mismas condiciones se determinan los calores específicos de cada

uno de los componentes del gas natural (Tabla A.1), con la siguiente ecuación se calcula el calor específico promedio del gas natural:

$$Cp_{comb} = \sum (Y_i \cdot Cp_i) \quad (38)$$

$$Cp_{comb} = 0.52 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

Tomando como temperatura de referencia 25 °C y empleando la ecuación (5):

$$Q_{com} = 7469.68 \times 0.52 \times (20-25) = -19\,421 \text{ Kcal/día}$$

#### Calor Sensible del Oxígeno.

Para lograr la combustión en el horno se emplean 1 161 m<sup>3</sup>/día de oxígeno puro, a una temperatura de 20 °C y una presión absoluta de 2.2 Kg/cm<sup>2</sup>, el calor sensible aportado por el oxígeno se determina de la siguiente manera:

$$n_o = 1\,029.1 \text{ Kmol/día}$$

$$G_o = 32\,931.20 \text{ Kg/día}$$

$$Cp_o = 0.22 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación (6) para el oxígeno:

$$Q_o = 32931.20 \times 0.22 \times (20-25) = -36\,224 \text{ Kcal/día}$$

#### Calor de Combustión.

El calor aportado por la combustión según la ecuación (16) es:

$$Q_c = 6000 \times 8460 = 50\,760\,000 \text{ Kcal/día}$$



## ENERGIA ABSORBIDA.

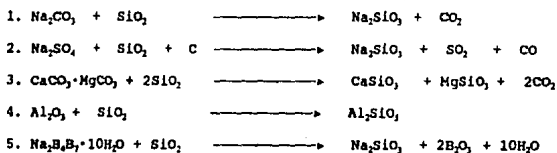
Calor Aportado (o Absorbido) por las Materias Primas.

Las materias primas que entran al horno son las siguientes:

Tabla 4.4 Materia Prima.

MATERIA PRIMA	PM (Kg/Kmol)	CARGA (mol/día)
SiO <sub>2</sub>	60.08	388110
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102.0	15.906
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106.0	10.584
CaCO <sub>3</sub> · MgCO <sub>3</sub>	184.39	6.562
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	381.02	3.868
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142.06	0.580

Estos compuestos reaccionan para producir silicatos, componentes principales del vidrio. Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Los calores de reacción estándar y el calor de reacción en función de la temperatura a la que opera el horno se calculan con las ecuaciones (11), (13) y (14). Los calores de formación estándar y los calores específicos de cada uno de los compuestos se determinarán de las Tablas A.2 y A.3. La Tabla 4.5 muestra los resultados de los cálculos realizados para cada una de las reacciones.

Tabla 4.5 Entalpia de Reacción.

REACCION	$\Delta H_f^\circ$ Kcal/mol	$\Delta H_c$ Kcal/mol	$\Delta H_r$ Kcal/mol
1	-5.88	61.975	56.093
2	54.824	59.750	111.304
3	50.536	-1.873	48.663
4	-46.990	-7.473	-54.463
5	139.731	59.696	199.427

Considerando las moles de cada compuesto el calor de reacción total es:

$$Q_r = (10584 \times 56.093) + (580.7 \times 111.304) + (6562 \times 48.663) \\ + (15906 \times (-54.463)) + (3868 \times 199.427) = 882\,749 \text{ Kcal/día}$$

Como se observa la reacción es endotérmica, lo cual quiere decir que ocurre una absorción de calor para producir el vidrio.

Además del calor que se requiere para producir el vidrio, debe considerarse otra cantidad de calor que es aportado al producirse un cambio de estado en la materia. Este calor es el calor total latente de fusión y se calcula considerando las moles de cada constituyente del vidrio y su respectivo calor de fusión (Tabla A.4). Por lo tanto, empleando la ecuación (10) el calor total latente de fusión es:

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 : (10584 + 5807 + 3868) \times 10.30 = 208\,667 \text{ Kcal/día}$$

$$\text{CaSiO}_3 : 6562 \times 13.40 = 87\,932.14 \text{ Kcal/día}$$

$$\text{MgSiO}_3 : 6562 \times 14.70 = 96\,462.87 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_f = 208667 + 87932.14 + 96462.87 = 393063 \text{ Kcal/día}$$

### Calor Sensible Absorbido por el Vidrio.

Al salir el vidrio del Horno de Fundición BB-1 lleva un contenido calórico que se determina de la siguiente manera:

El rendimiento total de reacción es de 95 por ciento. Esto quiere decir que los 28 831 Kg/día de materias primas que son alimentadas al horno sólo 27 505 Kg/día se obtienen de vidrio. El vidrio sale a 1 009 °C. A estas condiciones el calor específico del vidrio es de 0.287 Kcal/Kg°C.

De acuerdo con la ecuación (18):

$$Q_s = 27505 \times 0.287 \times (1009-25) = 7\,767\,632 \text{ Kcal/día}$$

### Pérdidas en los Gases de Combustión.

El análisis de los gases de combustión dio los siguientes resultados:

Tabla 4.6 Gases de Combustión del Horno de Fundición BB-1.

COMPONENTE	% VOLUMEN	PARAMETRO	VALOR
CO <sub>2</sub>	8	FRAC.HUM.%	0.0444
O <sub>2</sub>	13	FLUJO m <sup>3</sup> /Hr	4455
		PM Kg/Kmol	27.64
		P Kg/cm <sup>2</sup>	0.769
		T °C	382

Con la información anterior se determina la masa de gases de combustión en base seca:

$$V_{ps} = 106896 \times 0.9555 = 102\,139.12 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$n_{ps} = 1463.80 \text{ Kmol/día}$$

$$G_{ps} = 40459.80 \text{ Kg/día}$$

Según la ecuación (25):

$$Q_{\text{v}} = 40459.80 \times 0.348 \times (382-25) = 5\,026\,574 \text{ Kcal/día}$$

Calor del Vapor de Agua Contenida en los Gases de Combustión.

$$V_{\text{a}} = 106896 \times 0.045 = 4810.32 \text{ m}^3/\text{día}$$

a 382 °C y 0.79 Kg/cm<sup>3</sup> :

$$n_{\text{a}} = 68.935 \text{ Kmol/día}$$

$$G_{\text{a}} = 1241 \text{ Kg/día}$$

$$H = 773.65 \text{ Kcal/Kg}$$

Con la ecuación (7) a las condiciones de salida del vapor de agua tenemos que, el contenido de calor que lleva es:

$$Q_{\text{a}} = 1241 \times 773.65 = 960\,100 \text{ Kcal/día}$$

Pérdidas en el Aire de Enfriamiento.

Las paredes del Horno de Fundición de Vidrio BB-1 son enfriadas con 517 752 m<sup>3</sup>/día de aire a una temperatura de 20 °C y una presión de 0.80 Kg/cm<sup>3</sup>. Al absorber el calor de las paredes el aire se calienta hasta 40 °C. Por lo tanto, el calor perdido por enfriamiento es:

$$G_{\text{a}} = 66\,934.80 \text{ Kg/día}$$

$$Q_{\text{a}} = 66934.893 \times 0.250 \times (40-20) = 3\,346\,748 \text{ Kcal/día}$$

### Pérdidas de Calor por Conducción

Para realizar los cálculos de las pérdidas de calor por conducción, el Horno de Fundición de Vidrio BB-1 fue seccionado de acuerdo a los distintos tipos de ladrillo refractario del cual esta construido (Fig. 4.5).

La Tabla 4.7 presenta las características de cada una de las secciones.

Tabla 4.7 Características del ladrillo refractario del horno de fundición.

SECCION	MATERIAL	ESPESOR in	COND. TERM. BTU/hft <sup>2</sup> F/in	T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C	ALTURA ft
BOVEDA	SILICA	13.5	8	1465	260	2.37
ZONA 3	ZIRCON TZB	12.0	26	1353	218	1.25
ZONA 2	ZIRCON TZB	18.0	16.7	1353	382	0.75
ZONA 1	CAST FLUX	8.0	25	1100	293	3.25
PAVIMENTO	UNICOR	9.0	24.4	925	121	0.75

La conductividad térmica de cada material de construcción se determinó de las Gráficas A.1 y A.2 proporcionadas por fabricantes de ladrillos refractarios.

Con la información anterior y la ecuación (21), las pérdidas de calor en cada sección del horno se muestran en la Tabla 4.8.

Fig. 4.6 Sección Transversal de Horno de Fundición BB-1.

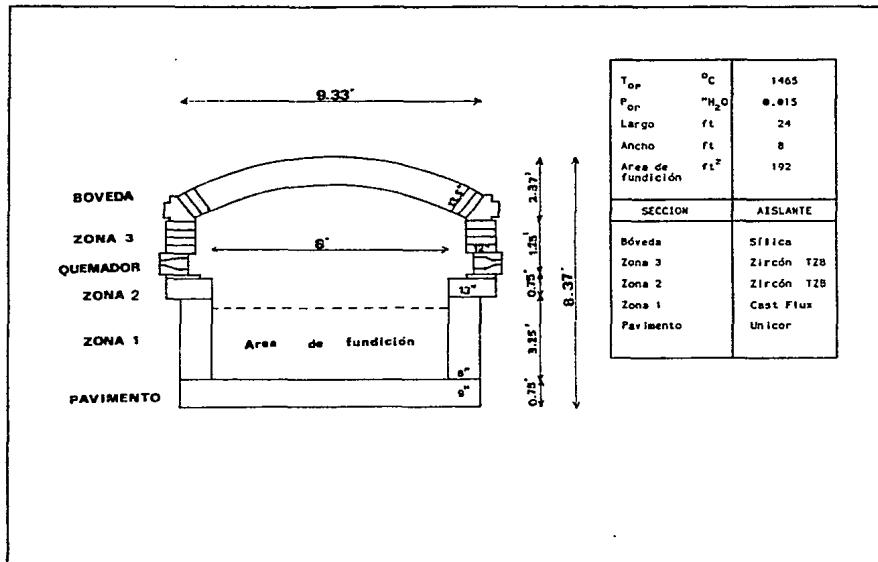


Tabla 4.8 Pérdidas de calor por conducción en el horno de fundición.

SECCION	$Q_{\text{cond}}$ BTU/h	$Q_{\text{cond}}$ BTU/día
BOVEDA	367605	2223277
PAREDES LATERALES		
ZONA 3	188126	1137788
ZONA 2	63241	382483
ZONA 1	767154	4639750
LADO FRONTAL Y TRASERO		
ZONA 3	48712	294612
ZONA 2	29227	176767
ZONA 1	140400	849139
BOVEDA	92364	558126
PAVIMENTO	816092	4935725
T O T A L		157197667

Pérdidas de Calor por Convección.

Para las pérdidas por convección natural entre las paredes del horno y los alrededores, se tomaron las mismas secciones del horno, con una temperatura en el aire alrededor del horno de 40°C. De acuerdo con las ecuaciones (23.4) y (24), las pérdidas por convección son:

Tabla 4.9 Pérdidas de calor por convección en el horno de fundición.

SECCION	$h_c$ BTU/hft <sup>2</sup> °F	$Q_{\text{conv}}$ Kcal/día
BOVEDA	1.33	916680
PAREDES LATERALES		
ZONA 3	1.269	79934
ZONA 2	1.494	216981
ZONA 1	1.380	645076
LADOS FRONTAL Y TRASERO		
ZONA 3	1.490	55636
ZONA 2	1.490	33381
ZONA 1	1.490	287194
BOVEDA	1.460	104958
PAVIMENTO	1.040	191202
T O T A L		2531042

**Pérdidas de Calor por Radiación.**

Las pérdidas de calor debidas a la radiación se determinan con las ecuaciones (25) y (26), los resultados son los siguientes (Tabla 4.10):

**Tabla 4.10 Pérdidas de calor por radiación en el horno de fundición.**

SECCION	$h, \text{BTU}/\text{ft}^2\text{°F}$	$Q_w, \text{Kcal}/\text{día}$
BOVEDA	2.61	1788829
PAREDES LATERALES		
ZONA 3	2.200	277436
ZONA 2	4.124	598389
ZONA 1	2.970	1382833
LADOS FRENTE Y TRASERO		
ZONA 3	4.120	306866
ZONA 2	4.120	184120
ZONA 1	4.090	787620
BOVEDA	3.810	544793
PAVIMENTO	0.877	265354
T O T A L		6136240

Se estima que las pérdidas de calor debidas a la radiación en las zonas más deterioradas de ladrillo refractario llegan aproximadamente a 8 463 623 Kcal/día. Por lo tanto, las pérdidas totales de calor en las paredes son:

$$\begin{aligned}
 Q_w &= 15197626 + 2531042 + 6136240 + 8463623 \\
 &= 32\,328\,531 \text{ Kcal/día}
 \end{aligned}$$

**CAMPANA DE FORMACION EC-1.**

En la Campana de Formación EC-1, se forman las fibras de vidrio. El balance de energía en esta área del proceso es similar al balance realizado en el Horno de Fundición de Vidrio BB-1.



## ENERGIA SUMINISTRADA.

### Calor Sensible del Combustible.

Para formar la fibra de vidrio es necesario mantener el vidrio fundido, para tal efecto se emplea el calor suministrado por 522 m<sup>3</sup>/día de gas natural a 20 °C y una presión absoluta de 1.34 Kg/cm<sup>2</sup>. De la ecuación (37) obtenemos que la masa alimentada de gas natural es la siguiente:

$$n_{\text{com}} = 29.113 \text{ Kmol/día}$$

$$G_{\text{comb}} = 501.27 \text{ Kg/día}$$

En el balance de energía del Horno de Fundición de Vidrio BB-1 se determinó el calor específico del gas natural, por lo tanto el calor sensible del gas, según la ecuación (5):

$$Q_{\text{comb}} = 501.27 \times 0.52 \times (20-25) = -1 \ 303 \text{ Kcal/día}$$

### Calor Sensible del Aire para la Combustión.

A diferencia del horno, en la Campana de Formación EC-1, la combustión se lleva a cabo con 5 742 m<sup>3</sup>/día de aire atmosférico.

La composición promedio de aire en la Ciudad de México es la siguiente (Tabla 4.11):

Tabla 4.11 Composición promedio del aire en la Ciudad de México.

COMPONENTE	FORMULA	COMPOSICION % VOLUMEN
NITROGENO	N <sub>2</sub>	78.09
OXIGENO	O <sub>2</sub>	20.93
BIOXIDO DE CARBONO	CO <sub>2</sub>	0.93
OTROS		0.05

De acuerdo a la información proporcionada por la oficina central del "Servicio Meteorológico Nacional", la humedad promedio durante el período de estudio en la zona metropolitana fue de:

$$60 \% \text{ Humedad Relativa a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

por lo tanto la humedad absoluta es igual a:

$$H = 0.019 \text{ Kg de agua/Kg de aire}$$

Esto significa que la masa de aire seco empleado para la combustión es:

$$n_a = \frac{n_t}{1 + H} \quad (39)$$

donde, según la ecuación (37):

$$n_t = 391.74 \text{ Kmol de aire total}$$

$$n_a = \frac{391.74}{1 + 0.019} = 384.63 \text{ Kmol/día de aire seco}$$

$$G_a = 11\,142.78 \text{ Kg/día de aire seco}$$

Empleando la ecuación (6):

$$Q_m = 11142.78 \times 0.25 \times (20-25) = - 13\ 928 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible del Agua Contendida en el Aire.**

El calor sensible del vapor de agua contenida en el aire se determina de la siguiente manera:

$$\text{masa de agua} = \text{masa total de aire} - \text{masa de aire seco} \quad (40)$$

$$n_m = 391.74 - 384.44 = 7.3 \text{ Kmol/día}$$

$$G_m = 131.58 \text{ Kg/día}$$

A 20 °C y 0.79 Kg/cm<sup>3</sup> el calor específico del agua es de 0.44 Kcal/Kg. El calor sensible del agua contenida en el aire es:

$$Q_m = 131.58 \times 0.44 \times (20-25) = -288 \text{ Kcal/día}$$

**Calor de Combustión.**

El calor aportado por combustión queda determinado con la ecuación (16):

$$Q_c = 522 \times 8460 = 4\ 416\ 120 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible Aportado por el Vidrio Fundido.**

El vidrio fundido proveniente del Horno de Fundición BB-1 aporta a la Campana de Formación EC-1 el calor que absorbe del horno. Según la ecuación (8):

$$Q_v = 27505 \times 0.287 \times (1009-25) = 7\ 767\ 632 \text{ Kcal/día}$$

### ENERGIA ABSORBIDA.

El calor aportado a la Campana de Formación EC-1 es absorbido principalmente por la fibra de vidrio formada. El resto del calor se pierde en los gases de combustión y la atmósfera.

#### Calor Absorbido por la Fibra de Vidrio.

De la ecuación (20):

$$Q_h = 27505 \times 0.16 \times (1141-25) = 4\ 911\ 293 \text{ Kcal/día}$$

#### Pérdidas en los Gases de Combustión.

Las características de los gases de combustión expulsados a la atmósfera se muestran en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Gases de combustión de la Campana de Formación EC-1.

COMPONENTE	% mol	PARAMETRO	VALOR
O <sub>2</sub>	4.80	FRACC.HUM. %	14.38
CO <sub>2</sub>	7.49	FLUJO m <sup>3</sup> /Hr	1290.77
N <sub>2</sub>	73.31	PM Kg/Kmol	27.94
		P Kg/cm <sup>2</sup>	382
		T °C	

La temperatura de los gases de combustión es 382 °C y en calor específico es de 0.276 Kcal/Kg°C, por lo tanto las pérdidas se determinan con la ecuación (25):

$$Q_p = 10621 \times 0.276 \times (382-25) = 1\ 046\ 508 \text{ Kcal/día}$$

#### **Pérdidas en el Vapor de Agua.**

El vapor de agua que llevan los gases de combustión es la formada en las reacciones de combustión y la contenida en el aire para llevar a cabo dicha combustión. A 382 °C y 0.79 Kg/cm<sup>3</sup> el vapor de agua tiene una entalpía de 773.65 Kcal/Kg. De acuerdo con la ecuación (7):

$$Q_w = 1225.0 \times 773.65 = 947\ 783 \text{ Kcal/día}$$

#### **Pérdidas de Calor en Pisos, Techos y Paredes.**

En ésta área todas las pérdidas de calor son debidas a las radiación atmosférica, ya que no existen paredes. Por lo anterior, estas pérdidas se determinan por cierre de balance y son:

$$Q_w = 5\ 253\ 898 \text{ Kcal/día}$$

#### **ESTUFA DE CURADO FF-1.**

En la Estufa de Curado FF-1 se elimina el contenido de agua y se lleva a cabo un proceso de polimerización de las resinas contenidas en el colchón de fibra de vidrio proveniente de la Campana de Formación EC-1.

#### **ENERGIA SUMINISTRADA.**

##### **Calor Sensible del Combustible.**

Aquí se requiere mantener una temperatura alta que permita evaporar tanto el agua como las resinas de polimerización. El calor que mantendrá esta atmósfera caliente es proporcionado por la combustión de 750 m<sup>3</sup>/día de gas

natural. El gas natural es alimentado a las mismas condiciones a las que fué suministrado en la Campana de Formación EC-1, por lo tanto:

$$n_{\text{comb}} = 41.829 \text{ Kmol/día}$$

$$G_{\text{comb}} = 720.223 \text{ Kg/día}$$

$$Q_{\text{comb}} = 720.223 \times 0.52 \times (20-25) = -1\ 872 \text{ Kcal/día}$$

**Calor de Combustión.**

El calor de combustión, como anteriormente se ha determinado:

$$Q_c = 750 \times 8460 = 6\ 345\ 000 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible del Aire para Combustión.**

Para realizar la combustión se utilizan 8 250 m<sup>3</sup>/día de aire atmosférico. Siguiendo el procedimiento de cálculo aplicado para la Campana de Formación EC-1, se tiene:

$$n_a = 560.046 \text{ Kmol/día}$$

$$n_m = \frac{560.046}{1 + 0.019} = 549.60 \text{ Kmol/día}$$

$$G_m = 15\ 921.99 \text{ Kg/día}$$

$$Q_m = 15921.99 \times 0.25 \times (20-25) = -19\ 902 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible del Agua Contendida en el Aire de Combustión.**

La masa de agua presente en el aire es:

$$n_w = 560.046 - 549.60 = 10.44 \text{ Kmol/día}$$

$$G_w = 187.92 \text{ Kg/día}$$

$$Q_w = 187.92 \times 0.44 \times (20-25) = -413 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible de la Fibra de Vidrio.**

Los 21 737 Kg de fibra de vidrio que son alimentadas a la Estufa de Curado FF-1 llevan un contenido de agua del 15 por ciento, el contenido de calor de la fibra de vidrio seca es:

$$G_s = 21737 \times 0.15 = 3\ 260.55 \text{ Kg/día}$$

$$G_h = 21373 - 3260.55 = 18\ 476.45 \text{ Kg/día de F.V. seca}$$

La temperatura del colchón de fibra de vidrio disminuye considerablemente desde 1411 °C hasta 50 °C, por efecto del medio ambiente, por lo tanto, usando la ecuación (20):

$$Q_h = 18476.45 \times 0.16 \times (30-25) = 14\ 781 \text{ Kcal/día}$$

**Calor Sensible del Agua Contendida en la Fibra de Vidrio.**

Usando la ecuación (7):

$$Q_w = 3260.55 \times 1 \times (30-25) = 16\ 303 \text{ Kcal/día}$$

### ENERGIA ABSORBIDA.

Una vez eliminada el agua y compactado el colchón de fibra, la cantidad total de placa de fibra de vidrio obtenida es de 18 476.45 Kg/día. El calor aprovechado es:

$$Q_v = 18476.45 \times 0.16 \times (150-25) = 369\ 529 \text{ Kcal/día}$$

$$Q_c = 3260.55 \times 668.3 = 2\ 178\ 658 \text{ Kcal/día}$$

### Pérdidas de Calor en los Gases de Combustión.

La Tabla 4.13 presenta las características de los gases de combustión que emite la Estufa de Curado FF-1.

Tabla 4.13 Gases de Combustión de la Estufa de Curado FF-1.

COMPONENTE	% MOL	PARAMETRO	VALOR
O <sub>2</sub>	4.34	FRACC.HUM %	16.19
CO <sub>2</sub>	8.98	FLUJO m <sup>3</sup> /h	1403.66
N <sub>2</sub>	85.81	PM Kg/Kmol	29.851
		P Kg/cm <sup>2</sup>	0.795
		T °C	253.00

El flujo total de los gases es de 14 999.28 Kg/día y las pérdidas de calor son:

$$Q_{10} = 14999.28 \times 0.276 \times (253-25) = 943\ 907 \text{ Kcal/día}$$

### Pérdidas en el Vapor de Agua de los Gases de Combustión.

La cantidad de agua que va contenida en los gases de combustión es de 1



TABLA 4.14 BALANCE DE MASA Y ENERGIA DEL HORNO DE FUNDICION BB-1 A CONDICIONES NORMALES DE OPERACION.

PARAMETRO	ENTRADA			SALIDA					
	GAS NATURAL	OXIGENO	MATERIA PRIMA	VIDRIO FUNDIDO	GASES DE COMBUSTION	VAPOR DE AGUA	AIRE DE ENFRIAMIENTO	PAREDES	ABERTURA
H (Kcal/Kg)	-	-	-	-	-	773.65	-	-	-
Cp (Kcal/Kg°C)	0.52	0.22	-	0.287	0.348	-	0.25	-	-
T (°C)	20	20	20	1008	382	382	40	-	-
P (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.795	2.195	20.795	-	0.795	0.795	0.795	-	-
Vol. (m <sup>3</sup> /día)	6000	11613	-	-	106898	4810	517752	-	-
Masa (Kg/día)	7469.68	32931	28831	27505	40457	1241	669349	-	-
Energia (Kcal/día)	50740579	-36224	-	9043444	5028574	860100	3348749	23864908	8460539

**TABLA 4.15 BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE LA CAMPANA DE FORMACION EC-1 A CONDICIONES NORMALES DE OPERACION.**

PARAMETRO	ENTRADA				SALIDA			
	GAS NATURAL	AIRE	AGUA (AIRE)	VIDRIO FUNDIDO	FIBRA DE VIDRIO	GASES DE COMBUSTION	VAPOR DE AGUA	PAREDES
H (Kcal/Kg)	-	-	-	-	-	-	773.65	-
Cp (Kcal/Kg°C)	0.52	0.25	0.44	0.287	0.16	0.276	-	-
T (°C)	20	20	20	1009	1141	382	382	-
P (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.384	1.694	1.694	-	0.795	0.795	0.795	-
Vol. (m <sup>3</sup> /día)	522	5635	106.9	-	-	26527	4451.64	-
Masa (Kg/día)	501	11143	132	27505	27505	10621	1148.3	-
Energía (Kcal/día)	4415007	-13928	-288	7767632	4911293	1046508	888394	5322038

TABLA 4. 16 BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE LA ESTUFA DE CURADO FF-1 A CONDICIONES NORMALES DE OPERACION.

PARAMETRO	ENTRADA					SALIDA				
	GAS NATURAL	AIRE	AGUA (AIRE)	FIBRA DE VIDRIO	AGUA (F.V.)	FIBRA DE VIDRIO	VAPOR DE AGUA (F.V.)	GASES DE COMBUSTION	VAPOR DE AGUA	PAREDES
H (Kcal/Kg)	-	-	-	-	-	-	868	-	868	-
Cp (Kcal/Kg °C)	0.52	0.25	0.44	0.16	1	0.16	-	0.27	-	-
T (°C)	20	20	20	30	30	160	253	253	253	-
P (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.384	1.694	1.694	0.79	0.795	0.795	0.795	0.795	0.795	-
Vol. (m <sup>3</sup> /día)	750	8101	153	-	-	-	10147	28377	5465	-
Masa (Kg/día)	720	15922	187.92	16476	3290	184076	3280	14990	1759	-
Energía (Kcal/día)	6343128	-19902	-413	14781	16303	369529	2178658	943907	1175573	1686230

Fig. 4.7 Diagrama de Sankey del Horno de Fundición BB-1

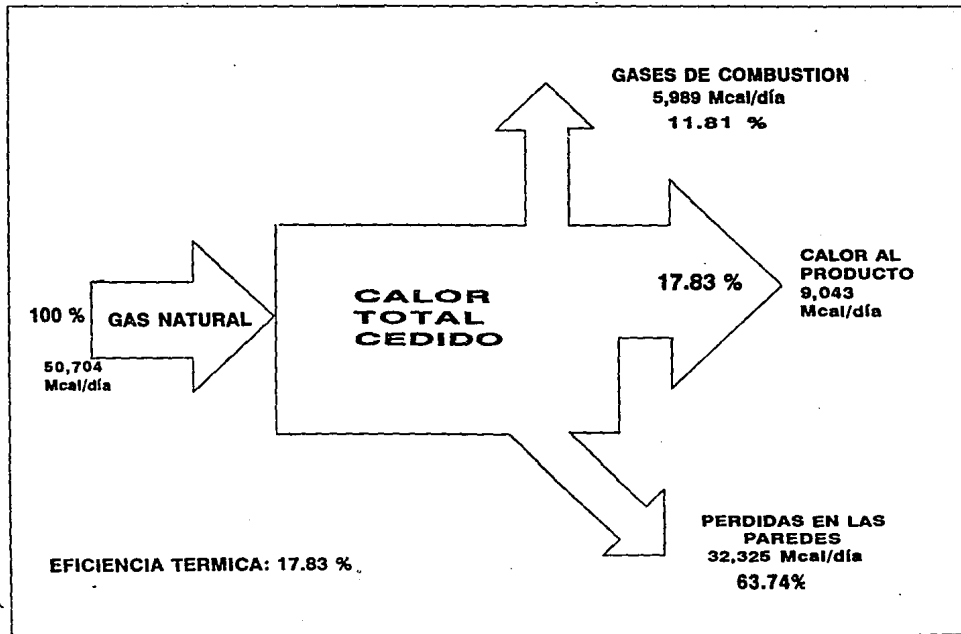


Fig. 4.8 Diagrama de Sankey de la Campana de Formación EC-1

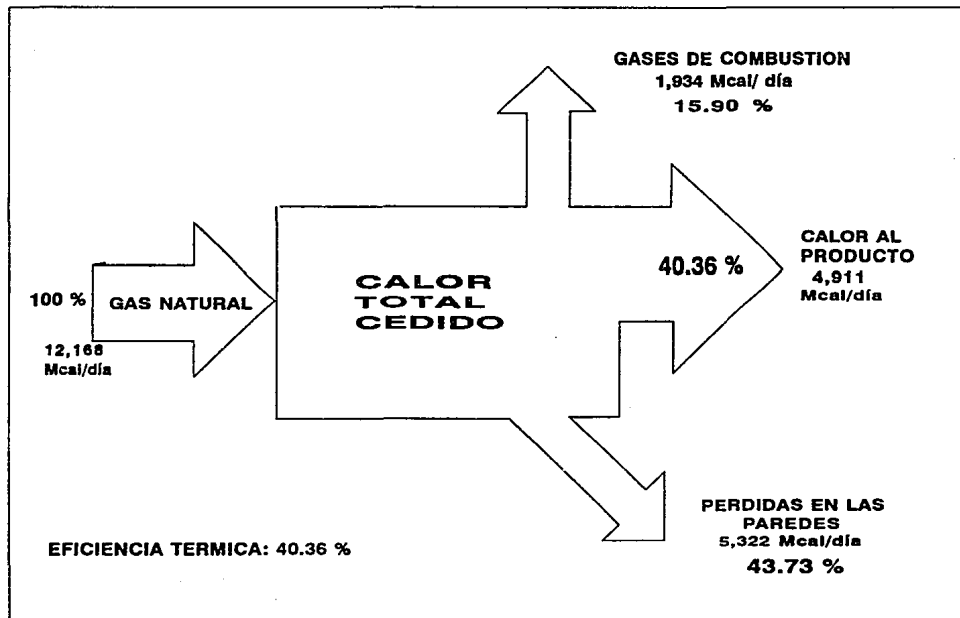
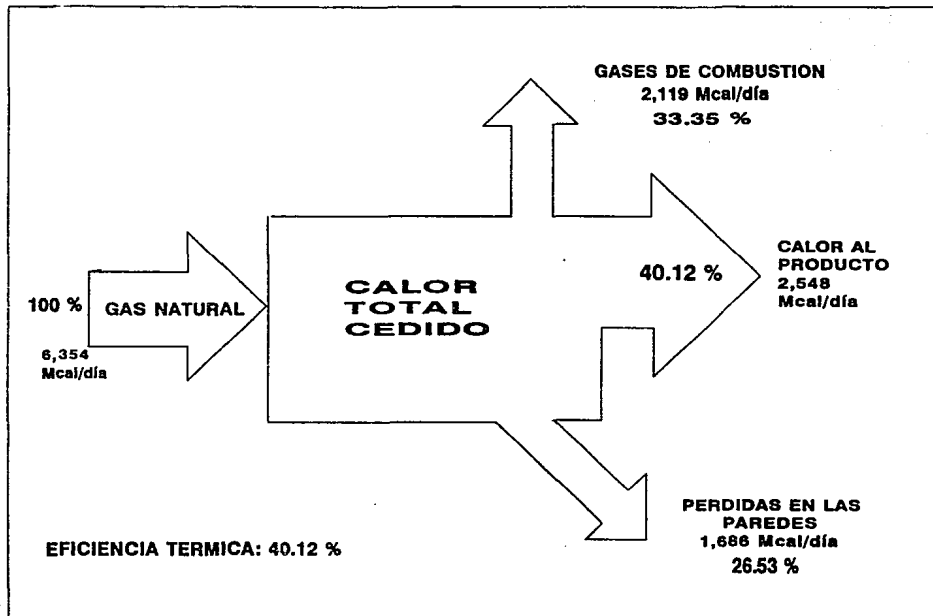


Fig. 4.9 Diagrama de Sankey de la Estufa de Curado FF-1



759.05, de acuerdo con la ecuación (7):

$$Q_{\text{a}} = 1759.05 \times 668.3 = 1\,175\,573 \text{ Kcal/día}$$

**Pérdidas de Calor en las Paredes.**

Estas pérdidas se determinan por cierre de balance y son un total de:

$$Q_{\text{p}} = 1\,686\,230 \text{ Kcal/día}$$

#### **4.5 INDICES ENERGETICOS.**

Para la determinación de los Indices Energéticos, se tomaron datos históricos del consumo de energía desde 1989.

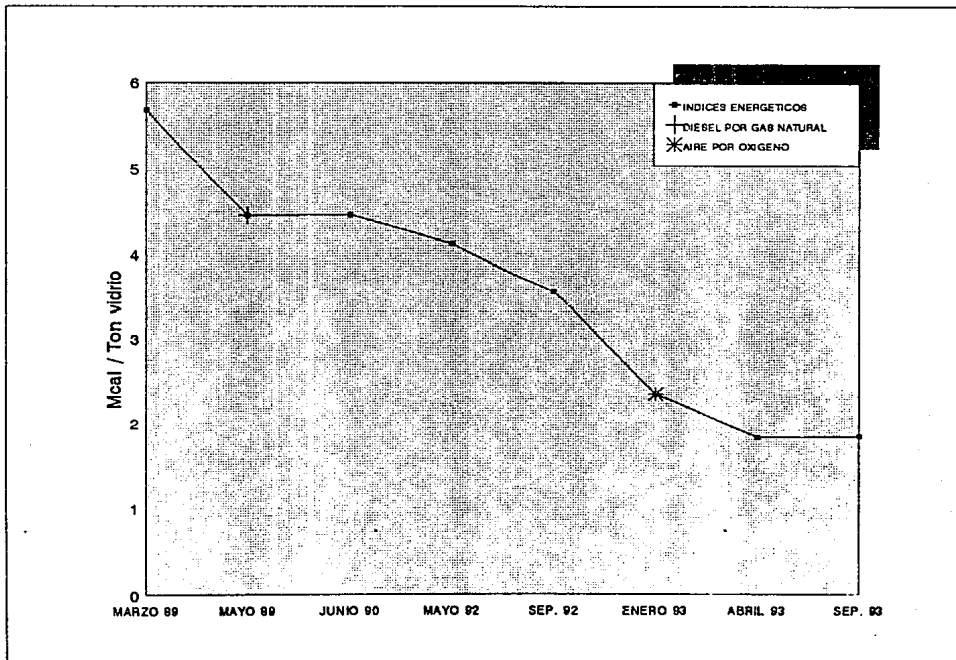
Al observar las estadísticas de consumos generales del proceso de producción, se detectaron cambios importantes en la instalación:

- a) En mayo de 1989 se cambio el uso de diesel por gas natural, dando como resultado una disminución en el uso de energía de 22 %.
- b) En noviembre de 1992, se cambio el sistema de combustión gas natural-aire por gas natural-oxígeno. Como resultado a esta medida, se obtuvo un ahorro de 48.31 % en el uso de gas natural.

En la Tabla 4.17 y la Gráfica 4.1 se observan estos ajustes operacionales.

Los Indices de Productividad Energética se determinarán con la ecuación (31)

Gráfica 4.1 Índices de Productividad Energética





**Tabla 4.14 INDICES EMERGETICOS.**

AÑO	PRODUCCION ton/día	CONSUMO DE GAS NATURAL m <sup>3</sup> /día	INDICE DE PRODUCTIVIDAD Mcal/ton
Marzo 1989	15.30	10 272	5.68
Mayo 1989	20.70	10 848	4.43
Junio 1990	21.94	11 520	4.44
Mayo 1992	27.74	11 040	4.11
Septiembre 1992	27.52	11 592	5.56
Enero 1993	20.40	5 682	2.34
Abril 1993	28.40	6 168	1.83
Septiembre 1993	27.50	6 000	1.84

**4.6 PROPUESTAS DE CONSERVACION EMERGETICA EN EL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO.**

Las siguientes propuestas se derivan de la inspección visual realizada:

1.- Con base al estudio de verificación de los equipos eléctricos se observó que tanto la corriente como el voltaje demandados por los motores se mantuvieron constantes.

Los motores de pequeña capacidad, al compararlos con los datos de placa correspondiente, mostrarán un comportamiento adecuado desde el punto de vista energético. Esto es que, las condiciones de operación son semejantes a las nominales, razón por la cual estos equipos no representan ningún potencial de ahorro.

En los motores de capacidad media y alta se encontrarán algunas diferencias entre las corrientes nominales, por lo que se propone efectuar un programa de sustitución y reubicación de éstos.

2.- Instalar medidores de energía eléctrica en cada área del proceso (Materias Primas, Horno de Fundición, Campana de Formación y Estufa de Curado), con la finalidad de tener un control específico del consumo de energía, además, ésta acción permitirá detectar fácilmente consumos alterados de electricidad debidos al mal funcionamiento de equipos eléctricos en cada área.

3.- Se recomienda instalar un medidor de flujo de aire en la Campana de Formación EC-1, debido a que no existe un medidor adecuado.

4.- Es importante seleccionar un sistema de control automático con una lógica de control racional capaz de registrar el consumo de combustible y mantener el exceso de aire al 30 %.

5.- En la Estufa de Curado FF-1, el medidor de flujo existente para el combustible, mide tanto el flujo de la estufa como el del incinerador, por tal razón, se propone instalar un medidor de flujo más.

El nuevo medidor será instalado para el consumo específico de la Estufa de Curado FF-1 y el medidor actual en el incinerador. Con esta medida se tendrá el registro real de combustible, y por lo tanto, una cantidad mínima de exceso de aire. Esto tendrá como ventaja que las emisiones de gases de combustión se reduzcan aumentando la eficiencia de la estufa.

6.- Tomar la propuesta 3 para la Estufa de Curado FF-1.

7.- De acuerdo con los balances de energía y los diagramas de Sankey de cada equipo, se observa que el área de mayores pérdidas es el Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

Estas pérdidas se localizan en las paredes del horno y en los gases de combustión. Para reducirlas se propone cambiar el ladrillo refractario del

cual esta hecho el equipo, así como, aislarlo para evitar fugas de calor al medio ambiente.

8.- En cuanto a los gases de combustión se sugiere aprovechar el contenido calórico de éstos para precalentar el aire requerido para la combustión de la Campana de Formación EC-1 y la Estufa de Curado FF-1.

#### 4.7 EVALUACION TECNICA DE LAS PROPUESTAS DE CONSERVACION ENERGETICA.

##### Cambio de Ladrillo Refractario del Horon de Fundición de Vidrio BB-1.

Cambiar el ladrillo refractario del cual esta hecho el horno, significa hacer una reconstrucción del mismo. Para tal reconstrucción se seleccionó ladrillo refractario resistente a la alta temperatura a la cual opera este equipo, a los efectos de corrosión del vidrio y a la atmósfera en el interior del horno. La Tabla 4.15 muestra las características de los ladrillos que se emplearán en la reconstrucción del Horno de Fundición de Vidrio BB-1.

Tabla 4.18 Ladrillos Refractarios.

LADRILLO REFRACTARIO	COMPOSICION % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>		CONO PI- ROMETRICO	T °C	Kg/cm <sup>3</sup>	POROSIDAD APARENTE %
EMPIRE MD	40	49	32/33	1745	2.15	16-20
KX - 99	43	53	33/34	1760	2.30	11-15

Por razones de seguridad y ahorro de energía se propone instalar paredes adicionales de ladrillo aislante que recubran la pared de ladrillo refractario, esto es, formar una pared compuesta. Los ladrillos aislantes elegidos son los siguientes (Tabla 4.19):

Tabla 4.19 Ladrillos Aislantes.

LADRILLO AISLANTE	COMPOSICION % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>		T máx. °C	PESO VOL. g/cm <sup>3</sup>	MODULO DE RUPTURA Kg/cm <sup>2</sup>
T - 16	12	63	870	0.5-0.55	6 -11
T - 23	34	46	1260	0.7-0.85	11-18
T - 26	55	39	1425	0.8-0.98	18-25
VSL - 50	35	52	1260		

El método de cálculo empleado para determinar la eficiencia del Horno de Fundición de Vidrio BB-1 reconstruido es el siguiente:

**Cálculo del Flujo Calorífico en una Pared Compuesta.**

En este caso, el flujo de calor a través de cada de área de pared es el mismo y depende de la conductividad térmica a la temperatura media de la pared y de la diferencia de temperaturas entre la cara fría y caliente. Debe recordarse que la cantidad de calor en la cara fría depende también de la temperatura y la velocidad del aire en el exterior de la pared.

La cantidad de calor perdida por la parte exterior de la pared viene dada por la curva de Heilmann (Grafica A.3). Podemos escribir a partir de la ecuación (20):

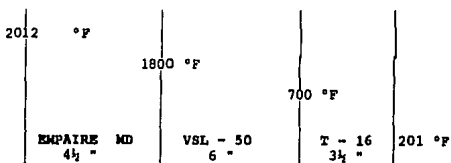
$$Q_{\text{cond}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}}$$

puesto que la conductividad de cada material depende de las temperaturas intermedias de las paredes y  $Q_{\text{cond}}$  de la temperatura del aire, la ecuación no puede resolverse directamente. Por lo tanto, debemos suponer una temperatura

intermedia y una temperatura exterior de pared. Si con  $Q_{cond}$  y la Gráfica A.3 no obtenemos una diferencia de temperaturas, entre la temperatura exterior y la temperatura del aire, igual a la que obtenemos de las suposiciones hechas, se hace una nueva suposición de temperatura, hasta alcanzar una máxima aproximación con una diferencia mínima entre las supuestas y las calculadas.

Con lo anterior se hacen suposiciones para las distintas zonas del Horno de Fundición BB-1. En seguida se presentan las consideraciones hechas, así como los resultados obtenidos.

#### Pavimento y Zona 1.



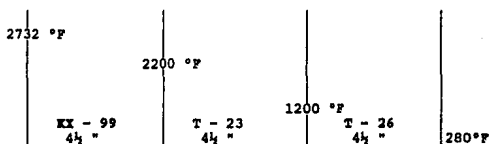
$$Q_{cond} = \frac{2012 - 201}{\frac{4.5}{10.58} + \frac{6}{1.87} + \frac{3.5}{1.129}} = 268.97 \text{ BTU/ft}^2\text{h}$$

De la Gráfica (4.5), considerando que la temperatura del aire es 80 °F se obtiene:

$$T = 120 \text{ °F}$$

$$T_{ind} = 120 + 80 = 200 \text{ °F}$$

Bóveda, Zona 2 y Zona 3.



$$Q_{\text{cond}} = \frac{2732 - 280}{\frac{4.5}{10.97} + \frac{4.5}{2.57} + \frac{4.5}{1.975}} = 552.29 \text{ BTU/ft}^2\text{h}$$

Con el calor perdido por conducción en las zonas indicadas y las áreas de las mismas se obtiene el flujo de calor total. Las pérdidas de calor por convección y radiación se obtienen de acuerdo con las ecuaciones (23.4), (24), (25) y (26) (Tabla 4.20).

Tabla 4.20 Pérdidas en las Paredes.

CALOR PERDIDO POR:	Kcal/día
CONDUCCION	944 652
CONVECCION	2 085 592
RADIACION	3 050 398
TOTAL	6 080 645

Considerando el calor requerido para la fusión del vidrio, el calor que se perderá en las paredes y suponiendo pérdidas en los gases de combustión del 20 %, el consumo de gas natural para proporcionar ésta energía será de 2400 m<sup>3</sup>/día.

Para la combustión de esta cantidad de gas natural se requieren 4460 m<sup>3</sup>/día de oxígeno. Con estos datos el balance de energía en el Horno de Fundición de Vidrio BB-1 (reconstruido) según la sección (4.4) es el siguiente (Tabla 4.21).

Tabla 4.21 Balance de Energía del Horno de Fundición BB-1 con cambio de Ladrillo Refractario.

ENTRADA	Kcal/día	SALIDA	Kcal/día	n
Calor sensible del combustible	- 7 768	Calor de reacción	9 043 444	44.58
Oxígeno	-14 314	Calor de los Gases de Combustión	5 157 993	25.43
Calor de Combustión	20 304 000	Calor Pérdido en las Paredes	6 080 645	29.9

#### Instalación de un Recuperador de Calor.

Del balance de energía realizado en el Horno de Fundición de Vidrio BB-1 (reconstruido), tenemos que, los gases de combustión a 382 °C tienen un contenido calórico de 5 157 Kcal/día que representan pérdidas del 25.43 % de la energía aportada por el gas natural.

Como anteriormente se indicó, ésta es una fuente de calor en la que es posible recuperar energía instalando un recuperador de calor para precalentar el aire empleado para la combustión en la Campana de Formación EC-1 y la Estufa de Curado FF-1.

Se tomarán en cuenta los siguientes criterios para la especificación del equipo recuperador de calor:

La temperatura máxima a la que se puede precalentar el aire no deberá

exceder la temperatura máxima permisible del material en el que será transportado.

Al llevarse a cabo el intercambio de calor entre el aire de combustión y los gases de combustión, la temperatura de éstos últimos no debe descender a menos de 150 °C, debido a que por debajo de esta temperatura se presenta el punto de rocío ácido en el que condensan los óxidos de azufre procedentes del combustible que con el vapor de agua producen ácido sulfúrico, presentandose así, el fenómeno de corrosión en ductos y equipos.

Con lo anterior, sugerimos que los ductos sean de Acero al Carbón SA-515 cuya temperatura máxima permisible es de 375 °C, por lo tanto, la temperatura de precalentamiento de el aira será a 350 °C.

Con lo anterior, se requieren 1 317 Mcal/día para precalentar el aire empleado en la Campana de Formación EC-1, para la Estufa de Curado FF-1 se necesitan 1 538 Mcal/día. En total, se absorberán 2 855 Mcal/día de las 5 157 Mcal/día contenida en los gases de combustión del Horno de Fundición de Vidrio BB-1. Con esto, las pérdidas en el horno se reducen al 11.35 por ciento y la eficiencia se incremeta a 58.60 por ciento.

La temperatura de salida de los gases de combustión descenderá a 222 °C, por lo que no se llega al punto de rocío ácido (Tabla 4.22).

Tabla 4.22 Características de los Gases de Combustión del Horno de Fundición BB-1.

CARACTERIS- TICAS	UNIDADES	ENTRADA AL RECUPERADOR DE CALOR	SALIDA DEL RECUPERADOR DE CALOR
Pérdidas en Gases de Combustión	Kcal/día %	5 157 911 25.43	2 302 322 11.35
Temperatura	° C	380	222
Eficiencia del Horno	%	44.58	58.60



Por otro lado, al llegar el aire precalentado a la Campana de Formación EC-1 su temperatura será de 320 °C debido a que habrán pérdidas de calor al medio ambiente durante el trayecto. A la Estufa de Curado FF-1 llegará a 290 °C porque la distancia es mayor.

Con las variables mencionadas se realizaron los balances de energía correspondientes (Tabla 4.23 y 4.24).

Tabla 4.23 Campana de Formación EC-1 con Aire Precalentado.

PARAMETRO	UMIDADES	PROCESO ACTUAL	PROCESO CON AIRE PRECALENTADO
T del aire de combustión.	°C	20	320
Gas Natural	m <sup>3</sup> /día	522	438
Emisión de Gases de Combustión	m <sup>3</sup> /día	30 978	22 033
Pérdidas en Gases de Combustión	Kcal/día %	2 003 00 16.36	1 657 917 13.62
Eficiencia de la Campana Formación EC-1	%	40.36	42.63
Costo por Gas Natural	N\$/día	152.68	128.11

Tabla 4.24 Estufa de Curado FF-1 con Aire Precaletado.

PARAMETRO	UNIDADES	PROCESO ACTUAL	PROCESO CON AIRE PRECALENTADO
T del aire de combustión.	°C	20	290
Gas Natural	m <sup>3</sup> /día	750	640
Emisión de Gases de Combustión	m <sup>3</sup> /día	33 750	29 018
Pérdidas en Gases de Combustión	Kcal/día %	2119480 33.35	1 801 808 28.35
Eficiencia de la Estufa de Curado EC-1	%	40.12	45.12
Costo por Gas Natural	N\$ / día	219.37	187.20

De los resultados anteriores se obtiene que precalentando el aire se obtiene una reducción en el consumo de gas natural del 16.09 % en la Campana de Formación y 14.66 % en la Estufa de Curado FF-1. En consecuencia, habrán disminuciones de emisiones contaminantes en 28.87 y 14.20 %, así como de las pérdidas en los gases de combustión del orden de 14.31 y 14.98 %. Simultáneamente, la eficiencia de los equipos aumenta del 40.3 al 42.62 % en la campana y de 40.12 al 45.12 % en la estufa.

Considerando lo anterior, el análisis se hizo sobre un equipo diseñado para la recuperación de calor de tipo regenerativo conocido como Q-Dot o Tubos Térmicos.

El Q-Dot está formado por una serie de tubos sellados de operación independientes los cuales contienen en su interior un líquido saturado. Un extremo es calentado por los gases de combustión y el otro es enfriado por el aire de combustión. El líquido en el interior al ser calentado se vaporiza difundiendo su calor hasta condensarse y posteriormente, retorna al extremo del tubo de calentamiento por acción del efecto de capilaridad y gravedad

(Figs. 4.10 y 4.11).

Los precalentadores de aire de Tubos Térmicos tienen las siguientes ventajas:

**Energía Eléctrica:**

Estos equipos no requieren de energía eléctrica para ser accionados, por lo que únicamente se debe considerar el aumento por caída de presión en los ductos que sea necesario instalar, pues estas resistencias deberán ser compensadas con un aumento de presión estática de los ventiladores que alimentan el aire para combustión al sistema y, a su vez, esto generará un aumento en el consumo eléctrico. Normalmente, el aumento de potencia fluctúa entre 5 y 25 Hp.

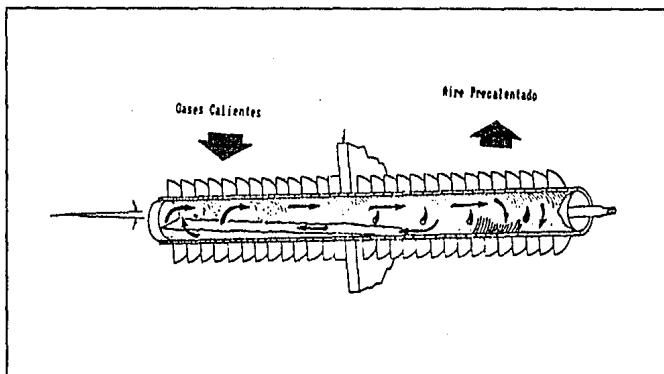
**Ventiladores:**

De acuerdo al punto anterior, es frecuente que la inclusión de un precalentador de Tubos Térmicos en un equipo de combustión, que en su diseño no consideraba un sistema de esta naturaleza, quede operando con sus condiciones originales y no sea necesario modificar el equipo accionador del ventilador (motor eléctrico o turbina), por lo cual, de requerirse ajustes en la presión de descarga, éstos se realizarán modificando los álabes del ventilador, rotor o flecha.

**Costo de Instalación:**

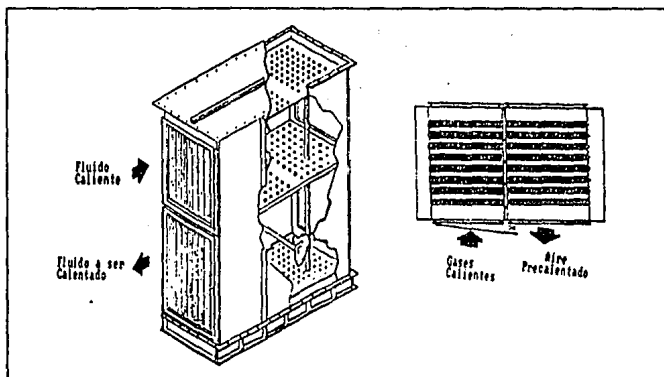
Este al igual que el de la ductería necesaria, fluctúa entre el 6 y 12 % del costo del equipo.

Fig. 4.10 Tubo Térmico mostrándose el ciclo vaporización - condensación del fluido interno de trabajo.



Fuente: Aplicación de Tubos Térmicos en Sistemas de Recuperación de Energía. [12].

Fig. 4.11 Arreglo de un Precalentador de Aire con Tubos Térmicos Verticales.



Fuente: Aplicación de Tubos Térmicos en Sistemas de Recuperación de Energía. [12].

#### **Mantenimiento:**

En virtud de que estos equipos no tienen partes móviles, su mantenimiento es mínimo, únicamente se recomienda inspeccionarlo visualmente una vez al año, así como darle limpieza a las superficies externas con agua o aire a presión en cada ocasión.

#### **Espacio:**

Estos equipos tienen tamaño compacto, lo cual permite su instalación en espacios relativamente reducidos, así como la versatilidad de colocarlos en diversas geometrías y posiciones.

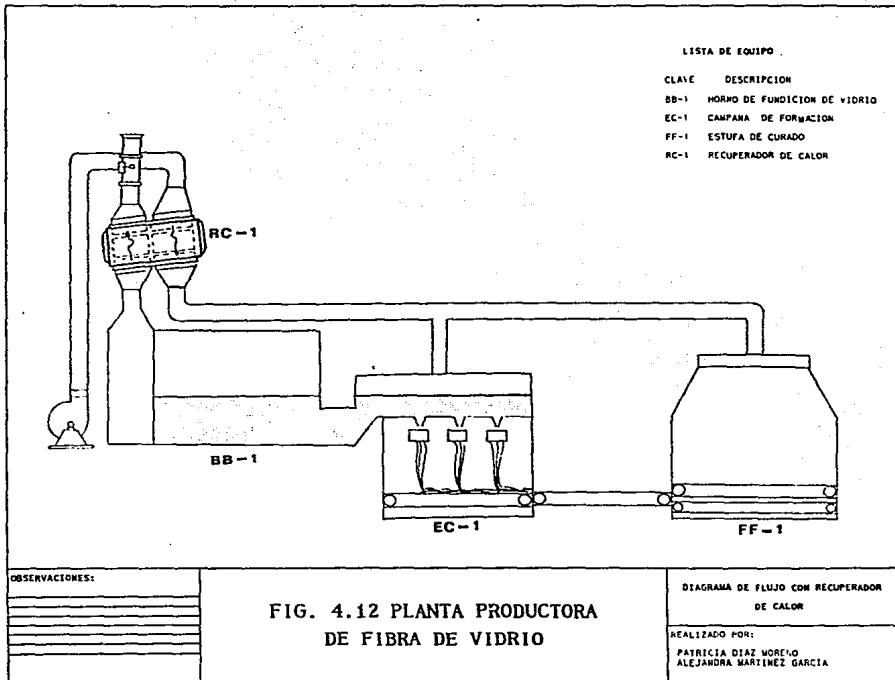
#### **Vida Útil:**

A la fecha, se tienen reportes satisfactorios de los equipos que iniciaron su operación hace aproximadamente ocho años y se prevé que su duración promedio de vida sea de 20 años, sin verse sacrificada la eficiencia térmica.

La Fig. 4.8 muestra el arreglo propuesto para instalar el precalentador de aire en el Proceso de Fibra de Vidrio.

#### **4.7.1 INDICES ENERGÉTICOS ESPERADOS CON LAS PROPUESTAS DE CONSERVACION ENERGÉTICA.**

Con las Propuestas de Conservación Energética que se han expuesto y los resultados que arrojan éstas los Índices Energéticos de Productividad que se



tendrán al ser aplicadas se cuantifican en la Tabla 4.22 .

Tabla 4.22 Indices de Productividad Energética.

AÑO	PRODUCCION t/día	CONSUMO DE GAS NATURAL m <sup>3</sup> /día	INDICE EMERGETICO DE PRODUCTIVIDAD Mcal/ton
1990	21.94	11 520	4.44
1992	27.74	11 040	4.11
1993	27.50	6 000	1.84
1995	40.00	2 400	0.507
DISEÑO	40.00	1 781	0.376

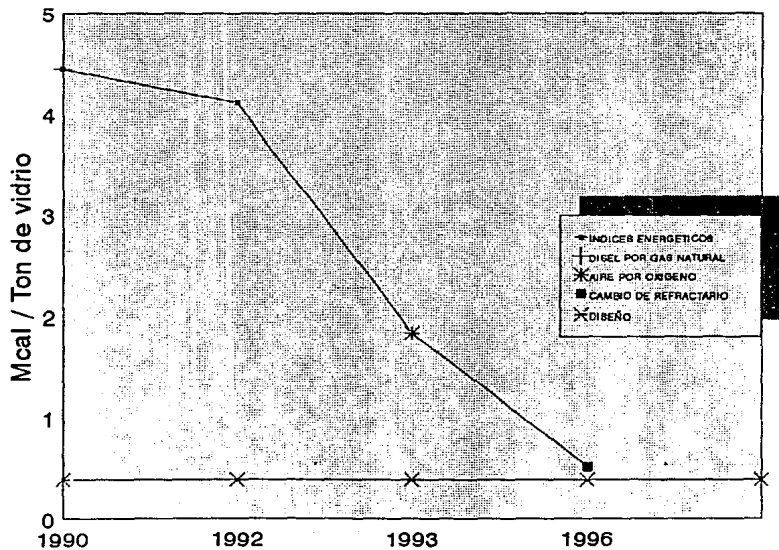
Como se observa, al llevarse a cabo las propuestas de Ahorro Energético, se obtendrá un acercamiento considerable a las condiciones de diseño.

#### 4.8 EVALUACION ECONOMICA DE LAS PROPUESTAS DE CONSERVACION ENERGETICA

Para efectuar la evaluación económica de las propuestas de conservación energética, se considerarán los siguientes parámetros:

- La evaluación económica se realiza a pesos constantes, nuevos pesos (N\$), con el propósito de que los datos que arroje la evaluación sean representativos en cualquier tiempo.
- El horizonte de planeación es de 6 años. Esto se determinó por ser el tiempo de vida útil que en promedio tiene un horno de cuba convencional.
- El ingreso esta representado por el valor monetario del ahorro de energía neto anual que se generará desde la aplicación total de las propuestas.

Gráfica 4.2 Índices de Productividad Energética





A continuación se presenta el desglose para la evaluación económica.

**INGRESOS:**

Sabiendo que el precio de venta de gas natural es de N\$ 0.292 por metro cúbico, tenemos que el monto de ingresos es el que se muestra en la Tabla 4.26.

**Tabla 4.26 Ahorro de Gas Natural.**

AÑO	AHORRO EN GAS NATURAL m <sup>3</sup> /año	N\$ / año
1995	1252020	366216
1996	1252020	366216
1997	1252020	366216
1998	1252020	366216
1999	1252020	366216
2000	1252020	366216

**INVERSION DE CAPITAL.**

La inversión en capital se calcula mediante el Método de los Factores de Compra, que consiste en asignar a cada elemento un factor predeterminado, el cual, se multiplica por el costo total del equipo.

	FACTOR %	N\$
<b>COSTOS DIRECTOS DE PROCESO (CDP)</b>		
Horno de Fundición de Vidrio BB-1		122040
Recuperador de Calor RC-1		20000
<b>COSTO TOTAL DE EQUIPO</b>		<b>142040</b>
<b>Instrumentación</b>		
	5	7102
<b>Tubería</b>		
	20	28408
<b>Instalación Eléctrica</b>		
	10	14204
<b>Construcción</b>		
	25	35510
<b>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS DE PROCESO</b>		<b>227264</b>
<b>COSTOS DIRECTOS DE OPERACION (CIP)</b>		
Ingeniería	10 de CDP	22726
<b>COSTOS TOTALES DE PROCESO (CTP)</b>		<b>249990</b>
<b>COSTOS DE PREOPERACION Y ARRANQUE</b>		
	8 de (CTP)	20000
<b>CONTINGENCIAS</b>		
	5 de (CTP)	12499
<b>INVERSION TOTAL</b>		<b>282490</b>

**COSTOS DIRECTOS DE OPERACION (CDO)**

Mano de obra de operación, según sueldos promedio del Banco de México para 1994, considerando dos operadores: N\$ 80 000.00

Supervisión de Operación. Se considerará el 10 % de la mano de obra de operación: N\$ 8 000.00

Mantenimiento. Se considera como el 2 % de la Inversión: N\$ 5 650.00

Servicios Auxiliares. Se consideran iguales a los costos de mantenimiento: N\$ 5 650.00

**TOTAL DE COSTOS DIRECTOS DE OPERACION** N\$ 99 300.00

**COSTOS INDIRECTOS DE OPERACION (CIO)**

El costo de indirectos para la industria química oscila alrededor del 30

al 70 % de los costos de la mano de obra directa, supervisión y mantenimiento.  
Considerando el 30 %:

N\$ 28 095.00

#### COSTOS FIJOS (CF)

Depreciación. Para efectos de esta evaluación se considerarán los siguientes parámetros:

- Depreciación en línea recta.
- Seis años de vida útil del equipo.

Englobando los parámetros descritos, el Estado de Resultados es el que se muestra en la Tabla 4.26.

El Estado de Resultados proporciona un Valor Presente Neto de N\$ 342 130, una Tasa Interna de Retorno de 56.69 %, siendo este un valor mayor que la Tasa mínima de Recuperación de 16.5 % y un Período de Recuperación de diez meses.

Estos resultados indican que las propuestas de Conservación Energética, el cambio de ladrillo refractario del Horno de Fundición de Vidrio BB-1 y la instalación de un recuperador de Calor, son rentables.

#### 4.9 PROGRAMA DE USO EFICIENTE DE ENERGIA EN EL PROCESO DE FIBRA DE VIDRIO.

Para obtener el ahorro y uso eficiente de energía es necesario establecer un Programa de Ahorro de Energía. Este programa incluye el Plan de Trabajo para realizar las propuestas expuestas anteriormente y el seguimiento que deberá darse al proceso de operación.

**TABLA 4.24**

**ESTADO DE RESULTADOS CON LA IMPLANTACION  
DE PROPUESTAS DE AHORRO ENERGETICO**

PERIODO AÑO RELATIVO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	0	1	2	3	4	5	6
INVERSION	202490						
AHORRO DE ENERGIA	0	366300	366300	366300	366300	366300	366300
COSTOS DIRECTOS DE OPERACION	0	99300	99300	99300	99300	99300	99300
COSTOS INDIRECTOS DE OPERACION	0	28095	28095	28095	28095	28095	28095
COSTOS FLUOS	0	47082	47082	47082	47082	47082	47082
COSTOS TOTALES DE PRODUCCION	0	74477	74477	74477	74477	74477	74477
UTILIDAD BRUTA	0	191823	191823	191823	191823	191823	191823
IMPUESTOS	0	67138	67138	67138	67138	67138	67138
UTILIDAD NETA	0	124685	124685	124685	124685	124685	124685
DEPRECIACION	0	47082	47082	47082	47082	47082	47082
FLUJO DE EFECTIVO	-282490	171787	171787	171787	171787	171787	171787
VALOR PRESENTE NETO A UNA TASA DE INVERSION DE 16.5 % (VALOR DE LA TASA DE INTERES DE CETES PARA JUNIO DE 1994).	-282490	147439	128557	109633	93247	80040	65704
<b>VALOR PRESENTE NETO:</b>	<b>N\$ 343,130.00</b>						
<b>TASA INTERNA DE RETORNO:</b>	<b>56.89 %</b>						
<b>PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION:</b>	<b>9 MESES</b>						

Pensando en los inconvenientes que tiene un personal no familiarizado con ciertos aspectos del proceso, la prudencia del empresario a entregar sus datos de fabricación, y lo que es más importante, la exigencia de una continuidad del Programa de Ahorro Energético, se ve la conveniencia de crear un Comité de Energía y responsabilizar a un Coordinador de Energía que ha de ejecutar, vigilar y coordinar el programa derivado de la Auditoría Energética aplicada.

Para aplicar las medidas de ahorro energético, es conveniente realizar un paro de operación para llevar a cabo el cambio de ladrillo refractario simultáneamente con otras actividades. Por lo tanto, la Tabla 4.25 plantea el Plan de Trabajo que se llevará a cabo durante el paro de operación.

Una vez realizadas estas actividades debe darse un seguimiento a los resultados obtenidos y compararlos con los esperados. El programa será positivo si se mantiene el interés participativo de todos los miembros de la empresa, razón por la cual se propone establecer:

- Programas de Concientización.
- Mantenimiento y Mejoras del Modo de Operación.

#### **Programas de Concientización.**

La concientización del personal ha de llevarse a cabo mediante campañas de motivación, formación y entrenamiento que garanticen una correcta ejecución del programa. Lo anterior se logrará haciendo uso de los siguientes medios:

- |                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| • Folletos                     | • Conferencias   |
| • Carteles                     | • Mesas Redondas |
| • Posters                      | • Concursos      |
| • Incentivos por participación |                  |

### PROGRAMA DE TRABAJO

PLANTA:	LOCALIZACION:										H-H PROG	H-H REAL
FIBRA DE VIDRIO	MEXICO, D.F.											
ACTIVIDAD	SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
DESMANTELAMIENTO DEL HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO BB-1	—										20	
CONSTRUCCION DEL HORNO DE FUNDICION BB-1		—	—	—							192	
SERVICIOS AUXILIARES				—							80	
INSTRUMENTACION					—						80	
PRUEBAS DE ARRANQUE						—	—				160	
INSTALACION DE PRECALENTADOR				—							24	
INSTALACION DE VENTILADOR Y DUCTOS DE AIRE CERCANOS AL HORNO DE FUNDICION BB-1		—									16	
DUCTOS DE AIRE EN LA CAMPANA DE FORMACION EC-1 Y ESTUFA DE CURADO FF-1			—								12	
INSTRUMENTACION DE LA CAMPANA DE FORMACION EC-1 Y DE LA ESTUFA DE CUARDO FF-1					—						16	
<b>TOTAL:</b>											<b>600</b>	
<b>NOTAS:</b>					<b>REVISION:</b>	0	1	2	3	4		
					<b>FECHA:</b>							
					<b>ELAB. POR:</b>							
					<b>APROB. POR:</b>							

Como estímulo y con el fin de hacer del programa una causa de todos, es necesario el establecimiento de reuniones periódicas con el personal para mantenerlos informados sobre el curso del programa de ahorro y los logros conseguidos.

#### **Mantenimiento y Mejoras del Modo de Operación.**

La lenta degradación a la que se ven sometidos todos los parámetros que influyen en el funcionamiento de una instalación, ya sea por negligencia, falta de tiempo o como consecuencia de la obsolescencia a que se ven sometidos los equipos, hace que no funcionen en condiciones óptimas.

Con el fin de evitar estas deficiencias, se impone la necesidad de la implantación de un mantenimiento energético mediante una serie de revisiones periódicas durante las que se detectarán las anomalías existentes para corregirlas en el más breve espacio de tiempo. Para ello se definen las siguientes listas de verificación para cada área del Proceso de Fibra de Vidrio.

PLANTA: FIBRA DE VIDRIO  
 LOCALIZACION: MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
 DE AHORRO DE ENERGIA  
 HORNO DE FUNDICION DE VIDRIO BB-1

COORDINADOR DEL PROGRAMA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 ELABORO: \_\_\_\_\_

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
1. Controlar la alimentación de materias primas y procurar mantener el mismo nivel de vidrio				
2. Puesta a punto de los quemadores				
3. Control de la combustión: - Ajustar el sistema de inyección de combustible a fin de ahorrar energía. - Verificar T, P y composición del combustible a la entrada. - Exceso de oxígeno al 5 por ciento - Utilización de analizadores de gases para lograr el uso óptimo de combustible. - Registro de la temperatura de los gases de combustión antes de entrar al recuperador de calor - Registro de temperaturas de flama del quemador.				
4. Inspección del estado del aislamiento y reparación de fugas: - Toma de las temperaturas internas y externas de las paredes del horno. (Se recomienda realizar una termografía una vez al año).				
5. Calibración de los sistemas de control.				
<b>TOTAL DE PUNTOS</b>				

Indice de Avance del Programa de Ahorro de Energía =  $\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas} \times 3} \times 100$

- 0 - 40 % El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicárselo al coordinador del programa.
- 40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solitaria.
- 70 - 100 % Felicitaciones. El PAE esta avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.



PLANTA:  
LOCALIZACION:

FIBRA DE VIDRIO  
MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
DE AHORRO DE ENERGIA  
CAMPANA DE FORMACION EC-1

COORDINADOR DEL PROGRAMA:  
ELABORO:

FECHA:

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
1. Puesta a punto de los quemadores				
2. Control de la combustión: - Ajustar el sistema de inyección de combustible a fin de ahorrar energía. - Verificar T, P y composición del combustible a la entrada. - Exceso de oxígeno al 30 por ciento. - Registro de la temperatura del aire precalentado. - Utilización de analizadores de gases para lograr el uso óptimo de combustible. - Registro de temperaturas de flama del quemador.				
3. Evitar el desperdicio de partículas de Fibra de Vidrio.				
4. Calibración de los sistemas de control.				
TOTAL DE PUNTOS				

Indice de Avance del Programa de Ahorro de Energía

=

$\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas} \times 3} \times 100$

- 0 - 40 % El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicarlo al coordinador del programa.
- 40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solicitaría.
- 70 - 100 % Felicitaciones, El PAE está avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.

PLANTA: FIBRA DE VIDRIO  
 LOCALIZACION: MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
 DE AHORRO DE ENERGIA  
 ESTUFA DE CURADO FF-1

COORDINADOR DEL PROGRAMA: \_\_\_\_\_  
 ELABORO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
1. Control de la eliminación de agua y resinas.				
2. Mantener la temperatura de cámara de la estufa entre 250 a 260 C.				
3. Puesta a punto de los quemadores				
4. Control de la combustión: - Ajustar el sistema de inyección de combustible a fin de ahorrar energía. - Verificar T, P y composición del combustible a la entrada. - Exceso de oxígeno al 30 por ciento. - Registro de la temperatura del aire precalentado. - Utilización de analizadores de gases para lograr el uso óptimo de combustible. - Registro de temperatura de flama del quemador.				
5. Alineamiento: evitar fugas de aire caliente.				
6. Calibración de los sistemas de control.				
TOTAL DE PUNTOS				

Indice de Avance del Programa de Ahorro de Energia =  $\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas} \times 3} \times 100$

- 0 - 40 % El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicarse al coordinador del programa.  
 40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solicitarle.  
 70 - 100 % Felicitaciones. El PAE esta avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.

PLANTA: FIBRA DE VIDRIO  
 LOCALIZACION: MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
 DE AHORRO DE ENERGIA  
 RECUPERADOR DE CALOR RC-1

COORDINADOR DEL PROGRAMA: \_\_\_\_\_

ELABORO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
1. Registrar las temperaturas de los gases de combustión y del aire a precalentar.  2. Control de los flujos de los gases de combustión y aire.				
<b>TOTAL DE PUNTOS</b>				

Indice de Avance del Programa de Ahorro de Energía =  $\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas} \times 3} \times 100$

- 0 - 40 % - El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicarse al coordinador del programa.
- 40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solitaria.
- 70 - 100 % Felicitaciones. El PAE está avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.

PLANTA:  
LOCALIZACION:

FIBRA DE VIDRIO  
MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
DE AHORRO DE ENERGIA  
AIRE COMPRIMIDO

COORDINADOR DEL PROGRAMA:  
ELABORO:

FECHA:

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Verificar el correcto funcionamiento del sistema para comprimir el aire a la presión mínima necesaria.</li><li>2. Detectar la existencia de fugas en tuberías, juntas, etc. auditiendose de una mezcla de jabón: efectuar las reparaciones correspondientes.</li><li>3. Prohibir el uso de aire comprimido para fines distintos a los especificados en la instalación.</li><li>4. Verificar que no exista ruido en el compresor, ya que este indica fugas en sellos y pérdidas de compresión.</li></ol>				
TOTAL DE PUNTOS				

Indice de Avance del Programa  
de Ahorro de Energía

$$\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas} \times 3}$$

x 100

- 0 - 40 % El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicarse al coordinador del programa.
- 40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solicitarle.
- 70 - 100 % Felicidades. El PAE esta avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.

PLANTA:  
LOCALIZACION:

FIBRA DE VIDRIO  
MEXICO, D.F.

LISTA DE VERIFICACION DE MEDIDAS DE CONSERVACION  
DE AHORRO DE ENERGIA  
ENERGIA ELECTRICA

COORDINADOR DEL PROGRAMA:  
ELABORO:

FECHA:

ACTIVIDADES (Si 1 punto, No 0 puntos)	SE REALIZO	SE ESTA REALIZANDO	SE REALIZARA	TOTAL PUNTOS
1. Inspección de transformadores: Checar características dieléctricas del aceite.				
2. Cuadros y cabinas: ajuste de contactos y apriete de uniones.				
3. Colocar recordatorios visuales a través de los cuales se motive al personal a apagar el equipo cuando no se este empleando.				
4. MOTORES: mantener engrasados los rodamientos, cambiar carbones cuando sea necesario.				
5. Revisar condiciones de alto y bajo voltaje, corregir en caso necesario.				
6. Lubricar el motor y las chumaceras de transmisión.				
7. Revisar el alineamiento del motor con el equipo accionado.				
8. Verificar el sobrecalentamiento, el cual, puede indicar un problema funcional y carencia de ventilación adecuada.				
9. Revisar ruido y vibración excesivos. Determinar las causas y corregirlas.				
10. Inspección de alamientos, resistencias e interruptores.				
11. Alumbrado: revisión de alumbrado y niveles luminicos.				
TOTAL DE PUNTOS				

Índice de Avance del Programa  
de Ahorro de Energía

=

$\frac{\text{Total de Puntos}}{\text{No. Medidas x 3}}$

x 100

- 0 - 40 % El PAE tiene problemas para aplicarse en la planta, comunicarse al coordinador del programa.  
40 - 70 % El PAE está en marcha en el área de trabajo, es necesario intensificar las acciones, de colaboración, solicitaría.  
70 - 100 % Felicidades. El PAE esta avanzando en el área de trabajo, las metas establecidas se alcanzarán.

## CONCLUSIONES

---

Las Auditorías Energéticas son la herramienta que permite determinar el estado real de operación y consumo energético de cualquier planta industrial en la que se aplique. De estos estudios se determinan potenciales de ahorro energético que son evaluados técnica y económicamente para disminuir el consumo de energía, elevar la productividad de los procesos y reducir los costos de operación, teniendo como beneficio adicional la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Con la aplicación de las Auditorías Energéticas de Primero y Segundo Grado al Proceso de Fibra de Vidrio y llevando a cabo las propuestas de ahorro energético, como son el cambio de ladrillo refractario del Horno de Fundición BB-1 y la instalación de un intercambiador de calor tipo Q-DOT para precalentar el aire de combustión empleado en la Campana de Formación EC-1 y en la Estufa de Curado FF-1, se obtuvo un ahorro en el consumo de gas natural del 52.17 por ciento, que equivale a N\$ 1 110.00 por día.

Con la reducción del consumo de gas natural, la planta disminuye sus emisiones contaminantes en 15.65 por ciento y la temperatura de los gases contaminantes que provienen del Horno de Fundición BB-1 desciende de 382 a 222 °C, lo que implica una reducción por contaminación térmica.

La evaluación económica de estas auditorías da Tasa Interna de Retorno de 56.69 por ciento que corresponde a un valor superior de la Tasa Mínima de

Recuperación de 16.5 por ciento. En un año, el ahorro será de N\$ 366 300.00, mismos que permiten pagar la inversión total para implantar las propuestas de ahorro en diez meses.

Una vez alcanzados los objetivos planteados con las Auditorías de Primero y Segundo Grado se recomienda a la empresa productora de Fibra de Vidrio, lleve a cabo una Auditoría de Tercer Grado que incluya una simulación estricta del proceso así como la realización del Balance Exergético correspondiente, que le permitirá tener un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos así como de materias primas, servicios auxiliares, equipo, espacio, etc. para obtener productos de mayor competitividad.

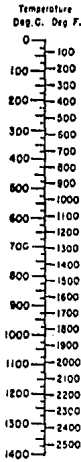
## **APENDICE A: DATOS TERMODINAMICOS**

---



TABLE A.1

C = Specific heat  $Btu / (lb.) (deg. F.)$  =  $Pcv / (lb.) (deg. C.)$   
 = calories /  $(gm.) (deg. C.)$



No.	Gas	Range Deg. C.
10	Acetylene	0 - 200
15	"	200 - 400
16	"	400 - 1400
27	Air	0 - 1400
12	Ammonia	0 - 500
14	"	500 - 1400
18	Carbon Dioxide	0 - 400
24	"	400 - 1400
26	Carbon Monoxide	0 - 1400
32	Oxirane	0 - 200
34	"	200 - 400
3	Ethane	0 - 200
5	"	200 - 600
8	"	600 - 1400
4	Ethylene	0 - 200
11	"	200 - 600
13	"	600 - 1400
17B	Fresh - 1 (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub> )	0 - 150
17C	" - 2 (C <sub>2</sub> HCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	0 - 150
17A	" - 22 (C <sub>2</sub> HClF <sub>3</sub> )	0 - 150
17D	" - 3 (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	0 - 150
1	Hydrogen	0 - 600
2	"	600 - 1400
35	Hydrogen Bromide	0 - 1400
30	Hydrogen Chloride	0 - 1400
20	" Fluoride	0 - 1400
36	" Iodide	0 - 1400
19	" Sulfide	0 - 700
21	"	700 - 1400
6	Methane	0 - 300
7	"	300 - 700
9	"	700 - 1400
25	Nitric Oxide	0 - 700
26	Nitrogen	0 - 1400
21	Oxygen	0 - 1400
29	"	1400 - 2500
22	Sulfur	0 - 1400
23	Sulfur Dioxide	0 - 1400
31	"	1400 - 2500
17	Water	0 - 1400

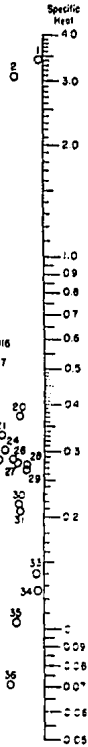


Tabla A.2  
**ENTALPIA DE FORMACION**  
 ( 25 °C Y 1 atm )

COMPUESTO	H° Kcal/mol
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-399.09
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	-648.70
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-302.00
C	000.00
CH <sub>4</sub>	- 17.88
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	- 20.23
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	- 24.82
CO	- 26.41
CO <sub>2</sub>	- 94.05
CaCO <sub>3</sub> · MgCO <sub>3</sub>	-558.80
CaSiO <sub>3</sub>	-377.90
H <sub>2</sub> O	- 57.79
MgSiO <sub>3</sub>	-347.50
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	-1503.0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-269.46
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	- 30.50
Na <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	-383.91
SO <sub>2</sub>	- 70.94
SiO <sub>2</sub>	-202.62

TABLA A.3  
CAPACIDAD CALORIFICA  
( 25 °C Y 1 atm )

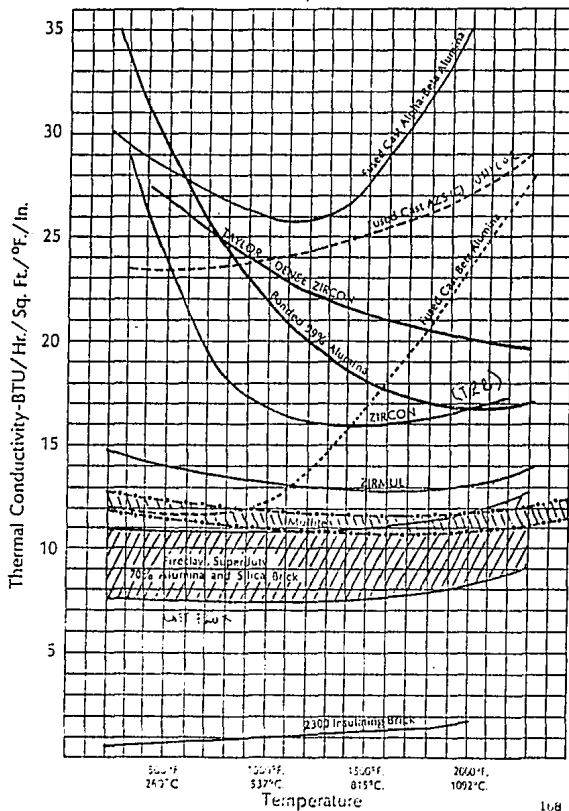
COMPUESTO	Cp	cal/mol°C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.08 + 0.008971 T	- 522500/T <sup>2</sup>
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	40.79 + 0.4763 T	- 992800/T <sup>2</sup>
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.40	
C	2.67 + 0.002617 T	- 116900/T <sup>2</sup>
CO	6.6 + 0.0012 T	
CO <sub>2</sub>	10.34 + 0.00274 T	- 195500/T <sup>2</sup>
CaCO <sub>3</sub>	19.68 + 0.01189 T	- 307600/T <sup>2</sup>
CaSiO <sub>3</sub>	27.95 + 0.00205 T	- 745600/T <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O	8.22 + 0.00015 T	- 1.34 E-6T <sup>2</sup>
MgCO <sub>3</sub>	16.90	
MgSiO <sub>3</sub>	25.60 + 0.00438 T	- 674200/T <sup>2</sup>
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	147.00	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	28.90	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	32.80	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	61.25 + 0.01768 T	- 1545000/T <sup>2</sup>
SO <sub>2</sub>	7.70 + 0.0053 T	- 8.3 E-7 T <sup>2</sup>
SiO <sub>2</sub>	10.87 + 0.008712 T	- 241200/T <sup>2</sup>

TABLA A.4  
CALOR LATENTE DE FUSION

COMPUESTO	H° Kcal/mol
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.75
CaSiO <sub>3</sub>	13.40
H <sub>2</sub> O	1.43
MgSiO <sub>3</sub>	14.70
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	10.30

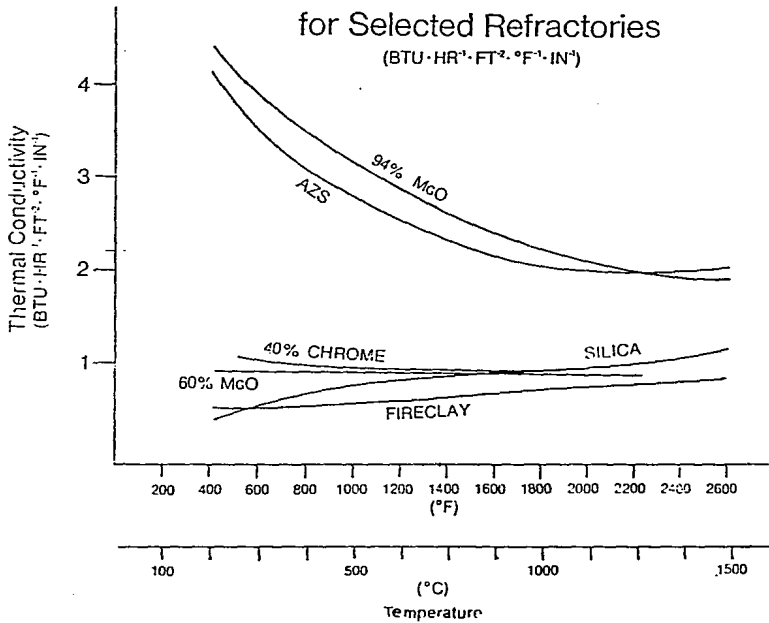
GRAPHIC A.1

Thermal Conductivity of Various Refractories

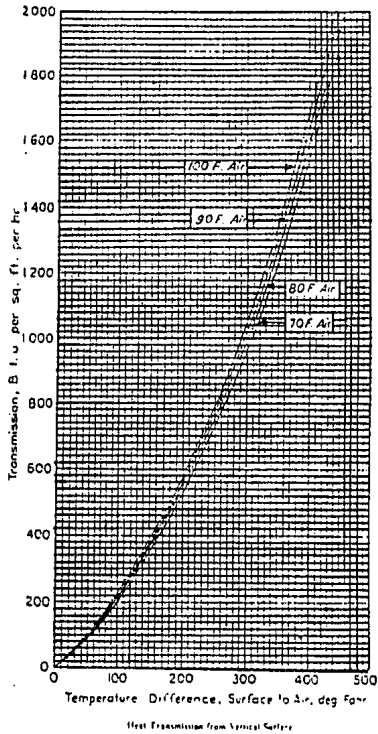


2. Comparison of Thermal Conductivity  
for Selected Refractories

(BTU·HR<sup>-1</sup>·FT<sup>2</sup>·°F<sup>-1</sup>·IN<sup>-1</sup>)



GRAFICA A.3



## **A P E N D I C E B: GLOSARIO DE TERMINOS**

---

A	Area de pared	m <sup>2</sup>
BC	Relación Beneficio-Costo	
C <sub>pi</sub>	Capacidad Calorífica de la corriente i	Kcal/Kg °C
C <sub>p°</sub>	Capacidad Calorífica Estándar	Kcal/Kg °C
do	Diámetro de Tubería	in
EA	Exceso de Aire	‡
EO	Exceso de Oxígeno	‡
F\$ <sub>i</sub>	Entrada de Efectivo en el año i	N\$
G <sub>i</sub>	Flujo másico de la corriente i	Kg/día
H	Entalpia del Vapor de Agua	Kcal/Kg
H <sub>f</sub>	Calor de Fusión	Kcal/Kmol
H <sub>R°</sub>	Calor de Reacción Estándar	Kcal/Kmol
H <sub>f°</sub>	Calor Estándar de Formación	Kcal/Kmol
H <sub>k</sub>	Calor Total de Reacción	Kcal/Kmol
h <sub>c</sub>	Coefficiente de Transferencia de Calor por Conducción	BTU/h ft <sup>2</sup> °F
h <sub>r</sub>	Coefficiente de Transferencia de Calor por Radiación	BTU/h ft <sup>2</sup> °F
I	Intensidad de Corriente	Volts
I <sub>c</sub>	Índice de Consumo	
I <sub>p</sub>	Índice de Productividad	
I <sub>o</sub>	Inversión Original de Propuestas	N\$
k	Coefficiente de Transferencia de Calor por Conducción	BTU/h ft <sup>2</sup> °F/in
K	Tasa de Interés en el Mercado Financiero	‡
L	Espesor de Aislante	in
N	Número de Años Límite para Recuperar la Inversión	3
n	Número de moles de cada especie en las reacciones	Kmol
P <sub>i</sub>	Pérdidas por la corriente i	Kcal/día
P <sub>in</sub>	Pérdidas por hidrocarburos sin quemar	Kcal/día
PCI	Poder Calorífico Inferior	Kcal/m <sup>3</sup>
PR	Período de Recuperación	Años
Q	Calor Total Aportado	Kcal/día
Q <sub>L</sub>	Calor Latente	Kcal/día
Q <sub>p</sub>	Calor Perdido	Kcal/día
R	Constante Universal de los Gases Ideales	0.082 atml/molK
RE	Resistencia Eléctrica	
r	Tasa Interna de Retorno	‡
T	Temperatura	°C
T'	Temperatura	°R
T <sub>f</sub>	Temperatura de Flama	°C
T <sub>o</sub>	Temperatura de Referencia	25 °C
TIR	Tasa Interna de Rentabilidad	‡
VP	Valor Presente	N\$
VPN	Valor Presente Neto	N\$
z	Altura de Paredes	ft



### Subíndices:

a	Aire
as	Aire Seco
c	Combustión
comb	Combustible
cond	Conducción
conv	Convección
e	Entrada
ee	Energía Eléctrica
gc	Gases de Combustión
in	Interior
j	Período en Años
m	Materia Prima
ext	Exterior
pp	Paredes
prod	Producto
r	Refrigerantes
rad	Radiación
s	Salida

### Letras Griegas:

$\sigma$	Constante de Boltzman=	$0.173 \times 10^{-8}$	BTU/h ft <sup>2</sup> °R <sup>4</sup>
$\Sigma$	Sumatoria		
$\epsilon$	Emisividad		
$\eta$	Eficiencia		
$\lambda$	Calor Latente		

## BIBLIOGRAFIA.

---

- 1.- Balance Nacional de Energía 1992. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. México 1993.
- 2.- VILLALOBOS H. A., "Ahorro de Energía y Auditorías Energéticas". Primer Simposium Exposición Industria, Energía y Medio Ambiente. México del 1 al 7 de Diciembre de 1992.
- 3.- AMBRIZ G. J, Romero R. H., "Diplomado en Administración y Ahorro de Energía", Módulo II, CONADE, México 1992.
- 4.- AMBRIZ G. J, Romero R. H., "Diplomado en Administración y Ahorro de Energía", Módulo VI, CONADE, México 1992.
- 5.- AMBRIZ G. J, Romero R. H., "Diplomado en Administración y Ahorro de Energía", Módulo VII, CONADE, México 1992.
- 6.- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. "Manuales Técnicos y de Instrucción para Conservación de la Energía", Tomo II, Madrid 1987.
- 7.- SMITH J. M., VAN NESS H. C. "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", Third Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo 1975.
- 8.- PERRY R. H. "Chemical Engineers Handbook", 6th Ed., McGraw-Hill, New York 1988.
- 9.- Ministerio de Industria y Energía, "Técnicas de Conservación Energética en la Industria", Tomo I Fundamentos de Ahorro Energético en Operaciones, Madrid 1982.

- 10.- KERN D. Q., "Process Heat Transfer", McGraw-Hill, New York 1980.
- 11.- Ministerio de Industria y Energía, "Técnicas de Conservación Energética en la Industria", Tomo II Ahorro Energético en Procesos, Madrid 1982.
- 12.- ORTEGA L. F., Anaya D. A., "Aplicación de Tubos Térmicos en Sistemas de Recuperación de Energía", Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, Vol. XXIII (2), Abril 1991.
- 13.- McADAMS W. H., "Heat Transmission", 3th. Ed., McGraw-Hill, 1954.
- 14.- MCKETTA J., "Encyclopedia of Chemical Processing and Desing", Vol. 24, Marcel Dekkel Inc, New York 1986.
- 15.- SINGER J. G., "Combustion. Fossil Power Systems", 3th Ed., Combustion Engineering, Inc, USA 1981.
- 16.- WITTE L. C., Schimdt P., "Industrial Energy Management and Utilization", Hemisphere Publishing Corporation, 1988.
- 17.- THUMANN A., "Handbook of Energy Audits", 3th Ed., Library of Congress Cataloging in Publication Data, 1992.
- 18.- TRINKS W., Mawhinney M. H., "Industrial Furnaces", 4th Ed., Vol. II, John Wiley & Sons, New York 1987.
- 19.- The American Society of Mechanical Engineers, United Engineering Center, Secc. II, New York 1974.
- 20.- Diario Oficial 18 de Noviembre de 1993.
- 21.- BLAINE O. O., "Energy Conservation in Industrial Plants", Proceedings of the First World Energy Engineering Congress, October 31-November 2, Atlanta 1978.
- 22.- PETERS S. M., Timmerhaus D. K., "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 4th Ed., McGraw-Hill, Singapore 1991.