

CONF - 931105 - -

**14<sup>th</sup> national seminar on the rational use of energy and exposition of  
equipment and services. Transactions. [Selected Papers]**



**ASOCIACIÓN DE TÉCNICOS  
Y PROFESIONISTAS EN  
APLICACIÓN ENERGÉTICA, A. C.**

**XIV SEMINARIO NACIONAL SOBRE EL  
USO RACIONAL DE LA ENERGÍA  
Y EXPOSICIÓN DE EQUIPOS Y SERVICIOS**

**M E M O R I A**

*[Selected Papers]*

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 1993**



**FIDEICOMISO DE APOYO AL  
PROGRAMA DE AHORRO DE  
ENERGÍA DEL SECTOR ELÉCTRICO**



**PEMEX**

**AUDITORIA DE PROTECCION  
AMBIENTAL Y AHORRO DE ENERGIA  
DE PETROLEOS MEXICANOS**

## **DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.**

## ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD DE UN PROYECTO DE COGENERACION EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA MEXICANA.

**ING. GUILLERMO GONGORA GONZALEZ.**  
**ING. ARTURO CASTELAZO HERNANDEZ.**

ULTRA ENERGIA, S.A. DE C.V.  
ANDES NUM. 98., LOMAS VERDES IV SECCION.  
NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO.  
TEL. 393-50-61, 393-50-71, 393-23-72, 393-50-04.  
FAX: 393-50-94.

### RESUMEN:

Se muestran los principales resultados técnicos y económicos de un estudio de Prefactibilidad de una industria considerada como mediana de la rama Alimenticia, la cual es filial de un consorcio industrial norteamericano.

La planta mencionada se encuentra localizada en la zona del Altiplano, cuya capacidad instalada es de 2,350 KW eléctricos y 8,519 KW térmicos necesarios para el desarrollo óptimo del proceso productivo.

Se analizan cinco alternativas de cogeneración técnicamente viables, comparando las ventajas y desventajas de cada alternativa.

Se presentan las recomendaciones y conclusiones para este tipo de proyectos.

### INTRODUCCION.

Actualmente en México la cogeneración es una alternativa viable para lograr el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos e incrementar la eficiencia en la utilización de la energía. Ante este panorama Ultra Energía ha realizado estudios de factibilidad técnico-económicos para la implementación de sistemas de cogeneración en la industria mexicana.

Las experiencias obtenidas por Ultra Energía en la evaluación de proyectos de sistemas de cogeneración, son el uso de metodologías y técnicas, así como de programas de computación desarrollados para formular alternativas óptimas hacia la aplicación de sistemas de cogeneración en las plantas industriales.

Los objetivos propuestos por Ultra Energía para un estudio de Factibilidad de un sistema de cogeneración son los siguientes:

I) Demostrar la factibilidad de implementar el sistema de cogeneración considerando los flujos energéticos de los procesos productivos y de la planta en general.

II) Indicar los beneficios que la industria puede obtener al instalar un sistema de cogeneración.

### METODOLOGIA.

La metodología empleada para el desarrollo del estudio de un sistema de cogeneración es la siguiente:

- 1) Recopilación de información.
- 2) Observación, medición y monitoreo de equipos y sistemas energéticos.
- 3) Análisis de la información.
- 4) Análisis de factibilidad técnica.
- 5) Análisis de factibilidad económica.

### 1) RECOPIACION DE INFORMACION.

La información recopilada está basada en datos estadísticos de los consumos de energía y productos obtenidos durante los últimos doce meses, con el siguiente contenido:

- Consumos de energía eléctrica y su costo.
- Consumos de combustibles y su costo.
- Consumos de agua y su costo.
- Consumos de vapor y sus características.
- Reportes de producción.
- Características geográficas.

### 2) OBSERVACION, MEDICION Y MONITOREO DE EQUIPOS Y SISTEMAS ENERGETICOS.

Se observan las condiciones y los procesos de fabricación, así como la filosofía de operación de equipos y sistemas de la planta. Es necesario elaborar un censo de motores eléctricos, cargas eléctricas por concepto de alumbrado y equipos eléctricos que no sean motores.

Interactuando con el personal operativo de la planta se selecciona la maquinaria y equipos a medir en forma fija y puntual con el propósito de determinar el perfil de consumo de energía.

### 3) ANALISIS DE LA INFORMACION.

Con la información y medición obtenida, se realiza el balance de materia y energía de la planta, con el fin de calcular la capacidad instalada de los KW eléctricos y de los KW térmicos utilizados.

Para la planta estudiada se calcula que el 22.36% son KW-eléctricos y el 77.64% son KW-térmicos..

KW TERMICOS	KW ELECTRICOS
8159 (77.64%)	2350 (22.36%)

La relación Calor/Electricidad (Q/E) es un índice de gran importancia para saber el tipo de tecnología que se puede aplicar, según las curvas de demanda de la energía térmica y eléctrica.

Para esta planta el Q/E es alto, debido principalmente a que se consume mucho vapor en relación a la energía eléctrica requerida.

Q/E	3.47 KWT/KWE
-----	--------------

En el análisis de factibilidad es indispensable conocer los costos de las fuentes de energía primaria ya que estos valores son los indicadores económicos más importantes a considerar para la viabilidad económica y financiera del sistema. Para este estudio las fuentes de energía son el gas natural y la energía eléctrica. Los costos del combustible para 1992 se indican en la siguiente tabla:

COMBUSTIBLE	CONSUMO ANUAL	COSTO TOTAL USD
GAS NATURAL	7,349,368.85 M <sup>3</sup>	\$437,419.00

Los costos de la energía eléctrica se indican en la siguiente tabla:

DEM MAX PUNTA (PROMEDIO)	DEM MAX BASE (PROMEDIO)	CONSUMO EN PUNTA (ANUAL)
KW	KW	KWH
2223	2234.5	2,322,384

CONSUMO EN BASE (ANUAL)	DEM MEDIA	COSTO ANUAL	COSTO POR EL KWH (PROMEDIO)
KWH	KW	USD	CTS DL/KWH
14,069,484	1865.7	\$888,529	5.34

El costo del KWh promedio que se tiene en esta industria alimenticia es muy aceptable, ya que cuentan con un factor de carga elevado, sin embargo el factor de potencia promedio se encuentra por debajo del 90%, lo que implica que esta industria pague penalizaciones a CFE.

FACTOR DE POTENCIA (PROMEDIO ANUAL)	FACTOR DE CARGA (PROMEDIO ANUAL)
86 %	84%

La eficiencia en la generación de vapor es aproximadamente de 92%, la cual es aceptable. Esta eficiencia se obtiene en

base a la cantidad de energía que se introduce en forma de combustible y que se convierte en vapor, pero no se toma en cuenta la calidad de la energía utilizada y la calidad de la energía obtenida ó el trabajo útil que contiene energéticamente el vapor, debido a que el vapor sale de la caldera y entra directamente al proceso, con lo cual se está desperdiciando trabajo útil en el contenido energético del vapor; sin embargo, al instalar el sistema de cogeneración, esta calidad energética es aprovechada para generar energía eléctrica.

El gas natural se utiliza en calderas y equipos que generan vapor a las siguientes condiciones

	KG/CM <sup>2</sup>	KG/HR
VAPOR DE ALTA PRESION	28	6,280
VAPOR DE BAJA PRESION	12.7	18,733

Para este estudio se consideró que la planta aumentará escalonadamente su capacidad instalada térmica y eléctrica para los próximos años.

AÑO	KWT- TERMICOS	KWE ELECTRICOS
1994	79.11%	20.88%
1996	79.37%	20.62%
1998	79.39%	20.61%

AÑO	KW TOTALES	Q/E
1994	18,198.00	3.79
1996	36,371.00	3.85
1998	48,506.00	3.85

Como se observa en el cuadro anterior la relación Q/E se mantiene constante y con fuerte potencial de cogeneración.

#### 4) ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA PARA EL SISTEMA DE COGENERACION.

En el análisis de prefactibilidad técnica, se plantearon cinco alternativas considerando

las demandas de vapor y electricidad que se requerirán en esta empresa alimenticia.

#### PRIMERA ALTERNATIVA:

Turbina de gas con recuperador de calor con postcombustión, la cual genera 3,591 KW y la cantidad requerida de vapor de baja presión, es necesario suministrar 209 KW de la red de CFE.

#### SEGUNDA ALTERNATIVA:

Turbina de gas con recuperador de calor con postcombustión, la cual genera 7,370 KW, la cantidad de vapor de baja presión, obteniendo un excedente de 3,570 KW para entregar a la red.

#### TERCERA ALTERNATIVA:

Turbina de gas que genera 10,633 KW con recuperador de Calor Dual con Postcombustión del cual se obtienen las dos calidades de vapor requeridas, obteniendo un excedente de 6,833 KW para entregar a la red de CFE.

#### CUARTA ALTERNATIVA:

Turbina de gas que genera 17,697KW con un recuperador de Calor Dual con Postcombustión del cual se obtienen las dos calidades de vapor requeridas, obteniendo un excedente de 13,897 KW para entregar a la red.

#### QUINTA ALTERNATIVA:

Una Turbina de vapor que genera 3800 KW, con tres extracciones y condensación, de las cuales se obtienen las dos calidades de vapor requeridos.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los valores obtenidos de estas cinco alternativas para el sistema de cogeneración.

PARAMETROS	UNIDADES	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
POTENCIA ENTREGADA	KW	4,370	8,840	13,980	23,266	3,800
PERDIDAS EN DUCTOS INTERNOS	KW	64.95	131.39	207	345	
PERDIDAS POR GASES EN EL HRSG	KW	103.81	210	332.4	553.2	
PERDIDAS POR CORRECCION DE ALTURAS	KW	610	1,129	2,808	4,670	
GENERACION ELECTRICA REQUERIDA	KW	3,800	3,800	3,800	3,800	3,800
GENERACION ELECTRICA NETA	KW	3,591	7,370	10,633	17,697	3,800
EXCEDENTES DE ENERGIA ELECTRICA	KW(POT)	-209	3,570	6,833	13,897	0
EXCEDENTES DE ENERGIA ELECTRICA	MWH	-1,720.48	29,256.34	56,249.25	114,400	0
FLUJO DE COMBUSTIBLE	MJ/HR	44,086	86,262	104,593	172,231	88,732
Q/E	KWT/KWE	3.60	1.76	1.63	.98	4.42
FLUJO DE SALIDA	TON/HR	58.69	107.2	125.53	190.79	
TEMPERATURA DE SALIDA DE LOS GASES	°C	489	508	491	527	
ICN		1.26	1.39	1.24	1.62	2.66
EFICIENCIA TERMICA	%	87.52	82.45	86.07	73.17	70.04
CONSUMO DE GAS	M <sup>3</sup> /AÑO	17,073,340	22,253,840	29,347,264	43,239,533	22,271,928

\*\*\*\*(-) COMPRA A CFE.

En el primer renglón se tiene la potencia entregada por la turbina a nivel del mar, la potencia eléctrica neta será esta potencia menos todas las pérdidas, como son las pérdidas en los ductos internos y las pérdidas por corrección de la altura.

Los excedentes de energía eléctrica serán la diferencia entre la generación eléctrica neta y la generación eléctrica requerida. En esta tabla se muestra la potencia excedente y los kwh excedentes.

Se muestran también los valores de los Indices de Calor Neto (ICN), los cuales son necesarios para saber si un sistema de cogeneración es factible o no. El ICN expresa la relación entre el combustible utilizado que se puede atribuir a la energía eléctrica producida, y la producción de

electricidad de las instalaciones; cuanto más cercano sea a la unidad será mejor. En los sistemas de cogeneración propuestos se observa que los ICN's obtenidos son cercanos a uno, a excepción de la alternativa V.

La eficiencia energética del sistema es elevada para los Casos I, II Y III, sobre todo si consideramos que esta eficiencia incluye la cantidad y calidad de los energéticos, ya que se está aprovechando la calidad energética del vapor para producir trabajo útil en forma de electricidad.

El consumo de gas varía de un caso a otro, siendo mayor este consumo en los casos que se venden excedentes, corresponde al análisis económico evaluar si vale la pena o no generar excedentes.

### 5) ANALISIS DE FACTIBILIDAD ECONOMICA PARA EL SISTEMA DE COGENERACION.

Para elaborar el estudio de factibilidad económica es necesario considerar la Situación Económica Actual de la Planta .

Un aspecto importante es el costo de la energía eléctrica que se compra a CFE y el costo del combustible comprado a PEMEX, ya que estos costos serán la base de comparación de la energía eléctrica y energía térmica "Con y Sin " un sistema de cogeneración.

El costo total de la energía eléctrica para la Planta en el año de 1992 fue de \$USD 888,529.52 con un costo promedio de 5.34 Cts de dollar /KWh.

La Planta tendrá una capacidad instalada de 3800 KW, por lo que este costo adicional debe ser tomado en cuenta para el análisis financiero.

El costo total de la energía eléctrica que se estima tendrá la Planta en el periodo de un año a partir de 1994; tomando en cuenta los requerimientos que ya se analizaron es de \$ USD 1,504,711.42.

El costo total del combustible utilizado en la Planta durante el año de 1992 fue de \$ USD 437,419.04.

La Planta utilizará más energía térmica para 1994 por lo que este costo es necesario incluirlo para el análisis; este costo será de aproximadamente \$ USD 506,785.07 para un periodo anual.

El costo total del gas natural que se estima para la Planta en el lapso de un año será de \$ USD 944,204.12.

El costo por operación y mantenimiento de la caldera y de las instalaciones eléctricas debe de tomarse en cuenta; para este estudio se consideró un 4% del costo total de la energía , resultando un costo de: \$ USD 97,956.50

Tomando en cuenta todos los costos anteriores se tiene que el costo total por uso

de energía en la Planta para el periodo de un año, a partir de 1994 será de:

<b>COSTO TOTAL DE LA ENERGIA EN LA PLANTA ALIMENTICIA PARA EL PERIODO DE UN AÑO, A PARTIR DE 1994.</b>	<b>\$ USD 2,546,872.06</b>
--	----------------------------

Cada alternativa requiere de equipo específico cuyo costo se muestra en los siguientes cuadros:

#### COSTO EN MILLONES DE U.S.D.

EQUIPOS	COMPONENTE EXTRANJERO	COMPONENTE NACIONAL	TOTAL
ALT I	3,348	1,620	4,968
ALT II	6,758	3,270	10,028
ALT III	12,865	6,225	19,090
ALT IV	15,480	7,500	22,980
ALT V	5,193	2,513	7,706

Considerando lo anterior el costo por KW instalado para cada alternativa es el siguiente.

ALTERNATIVA	USD/KW INSTALADO
I	1,383
II	1,360
III	1,795
IV	1,298
V	2,028

Para evaluar económicamente el sistema de cogeneración se tomaron las siguientes condiciones.

El total de horas de operación del sistema se calcula de la siguiente forma.

$31,281,600 \text{ KWh} / 3800 = 8,232 \text{ HORAS}$
---

Por lo tanto el sistema trabajará 343 días por año. De éstos es necesario que el sistema pare 22 días para realizar las siguientes actividades:

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| a) Inspección     | 7 días         |
| b) Mantenimiento  | 3 días         |
| c) Interrupciones | <u>12 días</u> |
|                   | 22 días        |

Es decir, el sistema no generará durante 528 hrs, teniendo una disponibilidad de 93.6%.

Por lo anterior es necesario generar vapor y comprar energía eléctrica a la red de CFE. Estos respaldos equivalen a \$ USD 60,286.02 de combustible y \$ USD 94,556.19 de energía eléctrica.

Los insumos energéticos requeridos para cada alternativa se muestran en el siguiente cuadro:

ENERGETICOS	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
ENERGIA ELECTRICA (KWH)	1,720,000	0	0	0	0
ENERGIA ELECTRICA (KW)	210	0	0	0	0
GAS NATURAL (MILES DE M <sup>3</sup> )	19,749	24,929	29,347	43,240	22,272

El costo de los energéticos para cada alternativa se muestra en el siguiente cuadro, en \$USD.

COSTO POR CONCEPTO	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA (\$USD)	150,569	-----	-----	-----	-----
ENERGIA ELECTRICA DE RESPALDO (\$USD)	-----	94,556	94,556	94,556	94,556
GAS NATURAL REQUERIDO (\$USD)	1,297,348	1,637,669	1,927,901	2,840,521	1,463,103
GAS NATURAL DE RESPALDO (\$USD)	60,286	60,286	60,286	60,286	60,286
TOTAL (\$USD)	1,508,203	1,792,511	2,082,743	2,995,363	1,617,945

El costo por operación y mantenimiento para cada alternativa es el siguiente:

ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
USD\$ 27,000	USD\$ 54,500	USD\$ 86,781	USD\$ 123,249	USD\$ 41,883

La energía generada por cada alternativa se muestra en el siguiente cuadro.

TIPO DE ENERGIA	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
VAPOR DE BAJA PRESION (TON/HR)	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73
VAPOR DE ALTA PRESION (TON/HR)	-----	-----	6.28	6.28	6.28
ENERGIA ELECTRICA (KWH)	29,561,112	60,669,840	87,530,856	145,681,704	31,281,600
ENERGIA ELECTRICA (KW)	3,591	7,370	10,633	17,697	3,800

Las alternativas II, III y IV muestran excedentes de energía eléctrica en KW y KWH, los cuales se pueden mandar a la red de CFE, con las siguientes magnitudes:

ALTERNATIVA	KW	KWH
II	3,570	29,256,340
III	6,833	56,249,256
IV	13,897	114,400,104

Como se indicó anteriormente la planta tiene planes de crecimiento, por ello la capacidad eléctrica y térmica instalada se incrementará.

Para el vapor será necesario comprar una caldera cuyo costo es el siguiente:

COMPONENTE	U.S.D
EXTRANJERO	719,348
NACIONAL	440,880
TOTAL	1,160,228

Este costo es considerado para el análisis económico y se nombra con el rubro de No Cogeneración.

El análisis económico se desarrolla en dos escenarios, el "A" donde no se considera la inflación y los índices son proporcionados por CONAE ( Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) y el "B" donde si se considera la inflación y los índices son tomados de estudios extranjeros.

#### Indices Económicos para el Escenario "A"

Los índices Económicos son:

- Tasa de Oportunidad 15%
- Tasa N\$/USD 3.15
- Periodo de Análisis 15 a 25 años.  
(dependiendo de la capacidad de la planta)
- Sin Inflación.
- Escalación Tarifa de CFE 1.6% / anual.
- Escalación Combustible 2.0% / anual.
- Escalación Operación y Mantenimiento 2.0% / anual.
- Precio de Venta de Excedentes a CFE.  
60 US\$/KW-año.  
2.5 ctsUS\$/KWh.
- Precio de compra de Demanda de CFE.  
a tarifa actual(respaldo)
- Financiamiento 80% / 20%  
(Deuda/Equity)
- Tasa de Interes.
- Equipo Nacional. 16%
- Equipo Extranjero. 8%
- Plazo
- Equipo Nacional. 5 años.
- Equipo Extranjero. 7 años.

-Periodo de Gracia  
 Duración de la Fabricación (Según capacidad) y de la Construcción.  
 -Consideraciones Fiscales.  
 No se Considera el IVA  
 Arancel al Componente Extranjero 20%

-Flete al Componente Extranjero 4%  
 Tasa de ISR  $35\%+(10\%+2\%)=39.27\%$   
 -Depreciación  
 Equipos 10 años.  
 Edificios 20 años.

En el siguiente cuadro se condensan los valores de las hojas de cálculo para cada una de las 5 alternativas:

VALORES OBTENIDOS: (USD \$000)	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
VPN DE LOS COSTOS ACTUALES DE LA PLANTA (USD)	19,333.73	19,333.73	19,333.73	19,333.73	19,333.73
VPN DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE COGENERACION (USD)	17,076.24	17,380.65	17,952.45	16,571.82	17,243.35
VPN DE LOS FLUJOS DE AHORROS INCREMENTALES (USD)	2,257.49	1,953.08	1,381.28	2,761.91	2,090.38
RETORNO DE EL COSTO DEL CAPITAL (%)	25.86%	14.42%	9.81%	11.71%	17.52%
TASA INTERNA DE RETORNO(NOMINAL) (%)	10.02%	3.14%	.26%	1.27%	5.10%
RELACION BENEFICIO/COSTO	1.13	1.11	1.08	1.17	1.12
PERIODO DE RECUPERACION (AÑOS)	11.5	15	>16	16	13.5

El VPN de los costos actuales de la planta es el mismo para cada una de las cinco alternativas y sobre este valor se comparará el VPN de los costos del sistema de cogeneración. El VPN del costo del sistema de cogeneración para cada una de las alternativas es elevado, lo cual nos indica que los sistemas de cogeneración tienen costos muy elevados, esto se refleja en los ahorros de flujos incrementales. El VPN de los flujos de ahorros incrementales para cada una de las 5 alternativas es positivo por lo que los sistemas de cogeneración propuestos tendrán costos menores en relación a la situación actual de la planta y lo más importante es que estarán ahorrando dinero.

El retorno del costo de capital resulta ser muy bajo, así como la tasa interna de retorno, esto como consecuencia de los costos elevados del sistema de cogeneración, estas tasas al ser bajas nos indican que la rentabilidad del proyecto es baja.

La relación Beneficio/Costo es buena para las cinco alternativas, siendo mejor para la alternativa IV.

El periodo de recuperación que se obtiene para cada uno de estos proyectos sobrepasa en casi lo doble al periodo que sería deseable que es de 5 años.

#### Indices Económicos para el Escenario "B"

-Tasa de Descuento (discount rate) 22%  
 (Discount rate USA del 15% más diferencia entre inflación USA y México de 7%)  
 -Tasa N\$/USD 3.15  
 -Periodo de Análisis 15 años  
 -Inflación. 10% anual.  
 -Escalación Tarifa de CFE(KWh y demanda) =inflación.  
 -Escalación Combustible 5.0 %/ anual.  
 -Escalación Operación y Mantenimiento =inflación.  
 -Precio de Venta de Excedentes a CFE 60 % de la tarifa CFE.  
 -Precio de compra de Demanda de CFE. 20 % de la tarifa CFE.

-Precio de compra de Demanda de CFE. a tarifa actual (respaldo)		-Pequeñas modificaciones:	6 meses.
-Financiamiento		-Instalaciones menores (< 10 MW)	12 meses.
	80% / 20 % (Deuda/Equity)	-Instalaciones mayores (Eq. vapor)	24 meses.
-Tasa de Interes y plazo de los créditos bancarios:		-Consideraciones Fiscales.	
	Equipo Extranjero. 8%	-IVA	0%
	Equipo Nacional. 16%	-Arancel al Componente Extranjero	20%
-Plazo		-Flete al Componente Extranjero	4%
Equipo Nacional.	7 años.	-Tasa de ISR	35%+(10%+2%)=39.17%
Equipo Extranjero.	12 años.	-Depreciación	10 años línea recta
-Periodo de Gracia			

En la siguiente tabla se condensan los valores de las hojas de cálculos para cada una de las 5 alternativas:

VALORES OBTENIDOS: (US \$ 000)	ALT I	ALT II	ALT III	ALT IV	ALT V
VPN DE LOS COSTOS ACTUALES DE LA PLANTA (USD)	13,836.94	13,836.94	13,836.94	13,836.94	13,836.94
VPN DE LOS COSTOS DEL SISTEMA DE COGENERACION (USD)	10,502.73	10,746.17	10,992.06	10,144.77	10,728.07
VPN DE LOS FLUJOS DE AHORROS INCREMENTALES (USD)	3,334.21	3,090.77	2,844.88	3,692.17	3,108.87
RETORNO DE EL COSTO DEL CAPITAL (%)	76.21%	42.79%	29.34%	30.56%	52.05%
TASA INTERNA DE RETORNO(NOMINAL) (%)	33.98%	18.88%	11.84%	12.70%	22.4%
RELACION BENEFICIO/COSTO	1.32	1.29	1.26	1.36	1.29
PERIODO DE RECUPERACION (AÑOS)	6	9	11.5	11	7.5

El VPN de los costos actuales de la planta es el mismo para cada una de las cinco alternativas y sobre este valor se comparará el VPN de los costos del sistema de cogeneración. El VPN del costo del sistema de cogeneración para cada una de las alternativas es muy similar por lo que para este proyecto el tener excedentes en mayor ó menor porcentaje dependerá de los otros valores que a continuación se estudian. El VPN de los flujos de ahorros incrementales para cada una de las 5 alternativas es positivo, por lo que los sistemas de cogeneración propuestos tendrán costos menores en relación a la situación actual de la planta, además de tener ahorros económicos.

El retorno del costo de capital es elevado para las alternativas I y V, esto es consecuencia del menor costo del equipo para estas alternativas en relación a las

otras tres. La tasa interna de retorno es atractiva para la I, aunque para la V, ésta resulta ser ligeramente superior a la tasa de descuento.

La relación Beneficio/Costo es buena para las cinco alternativas, además de ser muy similar. El periodo de recuperación para la I, que es de 6 años, resulta ser sumamente atractivo; para la alternativa V se tiene también un periodo de recuperación razonable.

#### CONCLUSIONES DEL REPORTE:

1.-En general los proyectos de cogeneración estudiados no son altamente rentables, por los costos de los equipos, del gas natural que se requiere en volúmenes altos, el precio considerado de venta de excedentes, y otros factores.

Sin embargo, todas las alternativas propuestas tienen ahorros económicos, además de proporcionar a la planta energía de alta calidad, sin interrupciones y problemas por fallas de la red.

2.-La alternativa I resulta la más atractiva, tanto en los índices del Escenario "A" (sin inflación) como en los índices del Escenario "B" (con inflación). Para este caso se compra un 5% de energía eléctrica a la red y el otro 95% se produce en el sistema de cogeneración, además en esta alternativa se satisface al 100% el vapor de baja presión requerido para el proceso.

Para esta alternativa si la planta no instalara un sistema de cogeneración el costo del KW-hora en el Escenario "A" aumentará un 1.6% anual, mientras que con el sistema de cogeneración el costo del KW-hora disminuirá un 3 % al primer año y después del octavo año el costo del KW-hora habrá disminuido un 43.22 % del costo actual. Para el escenario "B" si la planta no instalara un sistema de cogeneración el costo del KW-hora aumentará un 10% anual, mientras que con el sistema de cogeneración el costo del KW-hora disminuirá un 22% al primer año .

3.-Tomando como referencia el precio del KW-hora calculado a través de toda la vida del proyecto, y los índices del Escenario "A" y del Escenario "B", la alternativa que resulta ser la más atractiva es la IV , en esta se genera el 100% de la energía eléctrica requerida en la planta, el 100 % de la energía térmica requerida en la planta y se tienen excedentes disponibles para vender a CFE. Esta alternativa es atractiva debido a que el precio del KW-hora tiende a bajar año con año, hasta llegar a un precio en el cual el potencial de ahorro obtenido pagará el costo marginal al cual la Empresa produce el KW-hora.

Si la planta no instalara un sistema de cogeneración el costo del KW-hora en el Escenario "A" aumentará un 1.6% anual, mientras que con el sistema de cogeneración el costo del KW-hora disminuirá un 78% al primer año y después del séptimo año el costo del KW-hora habrá disminuido un 95% del costo actual. Para el

escenario "B" si la planta no instalara un sistema de cogeneración el costo del KW-hora aumentará un 10% anual, mientras que con el sistema de cogeneración el costo del KW-hora disminuirá un 85% al primer año y después del séptimo año el costo del KW-hora habrá disminuido un 93% del costo actual.

4.-Es importante observar que en general el sistema de cogeneración tendrá que ser rentable por los ahorros económicos que le proporcione a la planta y no por los ingresos que se puedan obtener al vender los excedentes a CFE.

5.-Este análisis se basa en la capacidad instalada que tendrá la Empresa para 1994; sin embargo para los años posteriores se incrementará la demanda eléctrica, por lo que los excedentes que se tienen ahora se tendrán que ocupar para satisfacer esta demanda; con el consiguiente ahorro en el costo de estos KW-horas, con respecto al precio de venta de CFE, por lo que el sistema de cogeneración resultará ser más rentable y atractivo que en la situación actual.

## EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE OPCIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN LA BIBLIOTECA DE LA UAM AZCAPOTZALCO

*N. Bratu, E. Campero, R. Dorantes, V. Fuentes,  
A. Figueroa, R. García y A. Zekkour.*

*Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco  
Av. San Pablo N° 180, Col. Reynosa Tamaulipas  
C.P. 02200. México, D. F.*

### RESUMEN.

En este trabajo se presenta un diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la biblioteca de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana para determinar las acciones que se pueden llevar a cabo para ahorrar energía eléctrica. Esto sin deteriorar el confort lumínico y térmico.

El análisis mostró que, cambiando las superficies reflectoras de las luminarias, se puede reducir el número de lámparas, sin que el nivel de iluminación quede debajo de los valores recomendados. Se estimaron ahorros: por la sustitución de las lámparas fluorescentes por otras de halogenuros metálicos en las partes donde el techo es alto; por la instalación de apagadores para mejorar la selectividad en el encendido y apagado de las lámparas, logrando así un mejor aprovechamiento de la iluminación natural; por la reducción de la carga eléctrica destinada al aire acondicionado que se obtendrá al incorporar tiros de aire inducido; y por una mejoría en la eficiencia de la instalación eléctrica y de los balastos.

Para las medidas que resultaron amortizables en tres años se cuenta con el apoyo del FIDE de la CFE. Se espera que la ejecución de las modificaciones se lleve a cabo en los meses de noviembre y diciembre de 1993 y evaluar los resultados durante 1994

## INTRODUCCION.

La Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Azcapotzalco fue creada en 1974 y se localiza al norte de la ciudad de México en la Delegación Azcapotzalco. En 1991 su población estudiantil registraba poco más de 15000 alumnos, mientras que su población docente y administrativa alcanzaba alrededor de 2500 trabajadores; ambas poblaciones permanecen estables en su crecimiento en los últimos 5 años. Su planta física ha llegado casi al límite de su crecimiento y muy poco se incrementará en los próximos años.

Dada la naturaleza de las actividades de la UAM-A sus necesidades de energía son básicamente de tipo eléctrico. La figura 1 muestra los consumos de energía eléctrica registrados desde 1983, así como la demanda de potencia eléctrica.

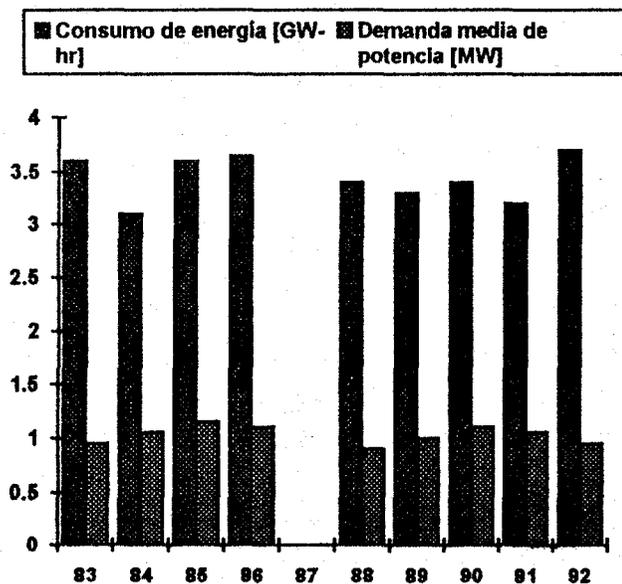


Figura 1. Evolución del consumo de la energía eléctrica y potencia media en la UAM-A desde 1983.

Se puede observar que el consumo anual promedio es de 3.3 GW-h, lo que da un consumo promedio mensual de 275,000 kW-h. Una auditoría energética elaborada en 1987 [1] mostró que los rubros más consumidores de energía eléctrica en la unidad eran:

- Iluminación: 76.2%
- Aire acondicionado, refrigeración y ventilación: 8.8%

- Calentadores y enfriadores para agua: 6.4%

La auditoría energética mostró también cuales eran los edificios con mayor consumo de energía eléctrica, encontrándose entre estos la biblioteca con el 12% del consumo total en iluminación.

Con el propósito de hacer una evaluación más detallada de la forma en que se consume la energía eléctrica en la biblioteca y para detectar los potenciales de ahorro, se elaboró un diagnóstico de la misma, el cuál consistió de tres partes:

- a) Diagnóstico de la instalación eléctrica.
- b) El confort lumínico.
- c) El confort térmico.

El diagnóstico arrojó los resultados que se presentan a continuación.

### INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA BIBLIOTECA.

La subestación de la biblioteca es alimentada a partir de un anillo trifásico de distribución primaria de 6 kV. Tiene un transformador de 300 kVA que transforma el voltaje a 220 V entre fases y 127 V entre fase y neutro.

Para determinar el estado de la instalación eléctrica se hizo una inspección del tablero general y de dos de los tableros secundarios más importantes, para verificar el nivel de aislamiento entre fases y tierra y entre neutro y tierra. Las mediciones hechas mostraron continuidad entre neutro y tierra, ya que los neutros de los tableros derivados están conectados a tierra. El resultado es que la sumatoria de la corriente instantánea que circula por los tubos metálicos no solo no es cero, sino que tiene valores elevados (20 a 25 amperes) y esto causa pérdidas de energía en los tubos metálicos. Actualmente se están cuantificando estas pérdidas.

Utilizando un analizador de redes, con capacidad para registrar y almacenar datos en una memoria digital, se analizó el comportamiento de la curva de carga en los diferentes tableros de la biblioteca (figura 2).

Corrientes por fase Biblioteca UAM-Azc.  
Tablero General 8-Febrero-1993

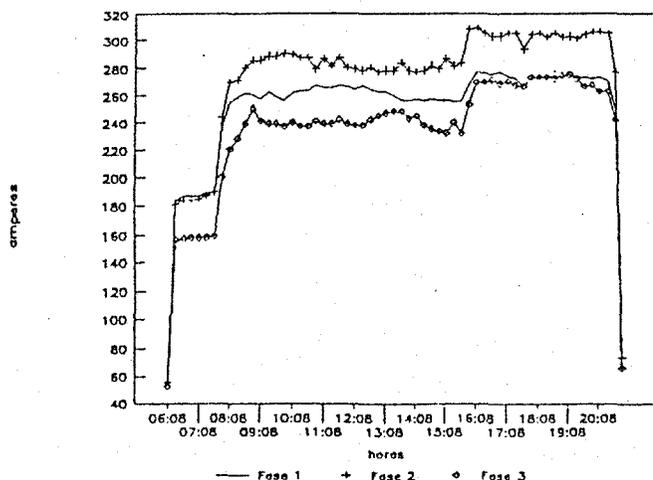


Figura 2. Registro de corriente para las tres fases del tablero general de la biblioteca [2].

En esta figura se puede ver que la curva de carga es casi constante a lo largo del día y que existe un desbalance importante entre las fases 2 y 3 (30%). Este desbalance se volvió a encontrar en las curvas de carga de los tableros secundarios.

Por otra parte, en el nivel superior de la biblioteca, se hicieron mediciones instantáneas de potencia a la salida del tablero de alumbrado, y éstas se compararon con la suma de las potencias de las lámparas encendidas, estimándose de esta manera la eficiencia eléctrica del alumbrado que resultó ser de 65% (incluyendo lámparas, conductores y balastos).

Por lo tanto el diagnóstico de la instalación eléctrica de la biblioteca, indica un importante potencial de ahorro de energía al balancear las cargas, evitando pérdidas por las tuberías metálicas e incrementando la eficiencia eléctrica del alumbrado.

#### DIAGNÓSTICO DEL CONFORT LUMÍNICO.

En la elaboración del diagnóstico lumínico se tomaron lecturas para caracterizar el comportamiento lumínico, tanto natural como artificial de las diferentes áreas y poder diagnosticar si los niveles de iluminación eran adecuados para las actividades que ahí se realizan, buscando al mismo tiempo diferenciar las aportaciones de iluminación natural y artificial. Así, se tomaron 334 lecturas en los 3 niveles del edificio a ejes y entre ejes, con luxómetros analógicos portátiles. En los cuadros 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 1. Estadísticas básicas de lecturas diurnas (totales).

Componente total (luxes)

#### NIVELES

	Primero	Segundo	Tercero	Promedio
promedio	485	824	891	733
mínimo	75	30	180	95
medio	245	320	600	388
máximo	2600	3000	3000	2867

Cuadro 2. Lecturas nocturnas (aportación iluminación artificial).

Componente total (luxes)

#### NIVELES

	Primero	Segundo	Tercero	Promedio
promedio	146	171	201	173
mínimo	5	10	30	15
medio	135	160	175	157
máximo	350	460	460	423

A partir de estos datos se puede decir que la aportación de iluminación natural que se observa en los niveles primero y segundo está por debajo del nivel mínimo establecido (300 luxes) [3, 4], revertiéndose este fenómeno en el tercer nivel donde los niveles son superiores a los 600 luxes. Los niveles de iluminación artificial, tanto en medias como en promedios son prácticamente en todos los casos inferiores a 300 luxes, inadecuados para realizar labores de lectura.

En general, se puede concluir que los niveles de iluminación en la biblioteca están por debajo del mínimo establecido, debido a:

- a) Un mantenimiento deficiente de las luminarias actuales y de los gabinetes de iluminación.
- b) Una distribución ineficiente de luminarias que no toma en cuenta las diferentes alturas de los techos de la biblioteca.
- c) Poca iluminación "a puesto de trabajo", manejándose únicamente un criterio de iluminación general uniforme.
- d) Una distribución inadecuada de la estantería y del mobiliario afectando las aportaciones de luz natural.

### **DIAGNÓSTICO DEL CONFORT TÉRMICO.**

Para lograr una óptima realización de las diversas actividades llevadas a cabo en la biblioteca es recomendable que los espacios tengan una temperatura de bulbo seco (TBS) inferior al límite superior de la zona de confort, el cual se determina en función de la temperatura neutra del edificio ( $T_n$ )  $\pm 2.5$  K, y de acuerdo a su ubicación. Así en la Ciudad de México, el rango es de 20 a 25° C. Por lo tanto se sugiere que la temperatura máxima de la biblioteca no exceda los 23° C en ninguna época del año, ni sea inferior a 20° C. Por lo que respecta a la humedad del medio ambiente esta debe fluctuar entre 50 y 60%. El movimiento del aire debe permanecer en niveles mínimos dentro del edificio, pero permitiendo la necesaria renovación del mismo. Para este tipo de edificios se sugiere entre  $\frac{1}{2}$  y  $1\frac{1}{2}$  cambio de aire por hora [5].

El diagnóstico de confort térmico se llevó a cabo con un levantamiento en los 3 niveles de la biblioteca, únicamente para la temperatura de bulbo seco. Dicho levantamiento se realizó en los lados norte y sur y zona central. Se escogieron días típicos de condiciones climáticas medias y con una ocupación media del edificio de 600 estudiantes.

Los resultados indicaron que, con excepción de la zona norte en el primer nivel, todos los valores de temperatura registrados exceden el límite superior de confort. La zona sur presentó las temperaturas más elevadas (30° C), debido a la alta insolación directa que penetra por los ventanales de la fachada principal. De esta manera el calor generado fluye hacia el interior del edificio, principalmente hacia la parte central norte y niveles superiores y se dirige a las únicas salidas posibles del edificio, que son unas pequeñas ventilas situadas en la parte superior y, debido al diseño del edificio, el aire caliente antes

de salir sufre varios cambios en su dirección, disminuyendo su velocidad y en consecuencia sensiblemente la ventilación del edificio. El resultado es una estratificación térmica en sentido vertical ( $\Delta T = 5^\circ \text{C}$ ) que no es amortiguada por una adecuada evacuación del aire en la parte superior. Estos resultados fueron corroborados por una serie de encuestas a los usuarios, los que manifestaron una "sensación de encierro" y falta de aire fresco, así como un ambiente seco. Cabe mencionar que el equipo de ventilación y de aire lavado con el que cuenta la biblioteca se encontraba fuera de operación.

### **PROPUESTAS PARA AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEJORAR EL CONFORT AMBIENTAL.**

#### **1. Instalación eléctrica.**

Se procederá a balancear las cargas en cada uno de los tableros para reducir pérdidas y se hará una revisión en los calibres de los alimentadores principales.

#### **2. Confort lumínico.**

Debido a que existen luminarias cuya superficie de reflexión podría permitir un ahorro de energía del 50%, se propone el cambio del reflector de los gabinetes fluorescentes 4 x 32 W por un reflector espectral con acabado a espejo. Mediciones hechas en nuestro laboratorio mostraron que, en un gabinete de iluminación con reflector espectral, es posible eliminar 2 lámparas de 32 W y conservar casi el mismo nivel de iluminación que utilizando un reflector normal y 4 lámparas de 32 W. De esta forma se puede ahorrar inmediatamente el 50% de la carga. Adicionalmente a esto, se propone instalar balastos de encendido instantáneo de alta eficiencia que nos permitirá incrementar la eficiencia eléctrica de los gabinetes de iluminación de 65% a 85%.

En el tercer nivel de la biblioteca, donde los techos se encuentran a alturas comprendidas entre 5 y 8 m, se propone eliminar la iluminación fluorescente existente e instalar lámparas de halogenuros metálicos de gran intensidad luminosa, tipo HQI, las cuales no solo permitirán incrementar los niveles de iluminación actuales, sino también lograr una disminución del 63% de la carga eléctrica en este nivel.

Complementario a estas medidas se efectuará una limpieza de todos los gabinetes para incrementar los niveles de iluminación.

### 3. Confort térmico.

La estrategia que se propone para alcanzar el confort térmico consiste en:

- a) Reducir las ganancias térmicas por techos y paredes.
- b) Eficientizar el sistema de ventilación natural del edificio.

En ambas estrategias se utilizarán fundamentalmente técnicas de tipo pasivo. Así, para reducir las ganancias térmicas se construirán unas arboledas en la fachada sur para disminuir la radiación directa sobre los ventanales de la biblioteca. Los techos de la misma se impermeabilizarán con pintura blanca para reducir la radiación absorbida. Esta medida tendrá adicionalmente un beneficio en la iluminación natural al reflejar la radiación directa y proyectarla al interior de la biblioteca.

Para eficientizar la ventilación del edificio, se instalarán 10 extractores eólicos, de los llamados "cebollitas", con una capacidad individual de alrededor de 74 m<sup>3</sup>/min, lo que permitirá tener al menos un cambio de aire por hora, cantidad que estimamos suficiente para renovar el aire y mantenerlo dentro de la zona de confort.

### FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.

Para el financiamiento de este proyecto se cuenta con el apoyo del FIDE y de la UAM misma. El FIDE aportará N\$250,000 y la UAM N\$150,000. La distribución que se hará de este fondo será la siguiente:

- Mejorar las instalaciones eléctricas: 12.5 %
- Mejorar la iluminación: 62.5 %
- Mejorar el confort térmico: 25.0 %

Los ahorros en carga y energía eléctricas que se esperan obtener mensualmente son:

1er nivel:	28 kW	9 508 kW-h
2o nivel:	24 kW	7 950 kW-h
3er nivel:	50 kW	23 290 kW-h
Ventilación:	29 kW	9 173 kW-h
<b>TOTAL:</b>	<b>131 kW</b>	<b>49 921 kW-h</b>

El ahorro económico anual que se espera obtener, considerando la tarifa OM, será de:

N\$ 37 728 (Potencia eléctrica)  
N\$ 83 867 (Energía eléctrica)

De esta manera el periodo de amortización de la inversión será de aproximadamente 3.2 años.

La ejecución de este proyecto será realizada en los meses de noviembre y diciembre de 1993 y enero de 1994, esperándose evaluar los resultados obtenidos, durante todo el año de 1994.

### CONCLUSIONES.

Este proyecto constituye el inicio de una cadena de proyectos de ahorro de energía, extendidos a los diferentes edificios de la Universidad Autónoma Metropolitana; dependiendo de los resultados que se logren y que están previstos, se espera que éste proyecto sea un ejemplo de ahorro de energía para instituciones de educación y empresas interesadas en el ahorro de energía.

### BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Dorantes R. y A. Ruíz. Programa de Conservación de Energía para la UAM-A. Reporte interno para la Rectoría de la Unidad. Junio 1987, 131 p.
- [2] Bratu N., E. Campero, R. Dorantes, A. Figueroa, V. Fuentes, R. García y A. Zekkour. Diagnóstico de Ahorro de energía eléctrica de la biblioteca de la Unidad. Aspectos lumínicos y térmicos. Reporte para el FIDE, marzo de 1993, 150 p.
- [3] Normas Técnicas del Instituto Mexicano del Seguro Social. IMSS, México, 1985.
- [4] Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Edit. Andrade, México.
- [5] Jennings B. y S. Lewis. Aire Acondicionado y Refrigeración. Edit. CECSA, 1991, 800 p.

### AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen profundamente la colaboración entusiasta de los jóvenes alumnos José Luis Félix, Evelio Salomón y Octavio E. Vega en la realización de este trabajo.

## AHORRO DE ENERGIA EN LA FABRICACION DE HIELO

Gerencia de Industria  
Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía  
del Sector Eléctrico  
FIDE

### Resumen

En este documento se exponen los resultados del estudio del diagnóstico energético para industrias productoras de hielo. Las oportunidades de ahorro y uso eficiente de energía identificadas, han permitido reducir la facturación energética, a la par de modernizar sus instalaciones y atender aspectos inherentes al uso de energéticos; en lo cual las inversiones estimadas se recuperan en su mayoría en un año, las bondades de las inversiones propician un crecimiento y competitividad, requerida en estos días.

### INTRODUCCIÓN

Hacer un uso racional y eficiente de la energía, se ha convertido en una opción industrial para reducir costos y aumentar la competitividad, en congruencia con los esquemas de calidad total y la necesidad de combatir la contaminación, bajo este concepto se realiza un diagnóstico energético de segundo nivel en las empresas de la fabricación de hielo.

La administración de la energía es una actividad multidisciplinaria que no podría llevar una sola persona y dado que en la mayor parte de las empresas cuentan con personal técnico poco especializado en control de energéticos, se sugieren que el encargado del grupo de energía sea el responsable mismo de la planta.

Este diagnóstico permite ponderar los potenciales de ahorro, así como la localización de áreas de oportunidad y propone medidas para lograrlo.

En la medida en que avanza el año, el consumo de hielo es mayor y por tanto a mayor producción, menor consumo de energía, lo que se traduce en menor aprovechamiento de las instalaciones. En todos los casos estudiados el potencial de ahorro es mayor.

Conforme a la evaluación técnica preliminar, fue posible establecer el alcance específico de este proyecto, en el que se atendieron dos aspectos fundamentalmente:

- **Análisis y Evaluación Energética de la Planta**
- **Administración Estratégica de la Energía**

Para la primera etapa, se ejecutó un diagnóstico energético de segundo nivel que permitió ponderar los potenciales de conservación y ahorro así como la localización de áreas de oportunidad; en la segunda se elaboraron las evaluaciones técnico económicas de las posibilidades y acciones en plazos diferentes de retorno y la determinación de medidas de ahorro de energía y su jerarquización. Así también se incluyen aspectos macroeconómicos de la planta, como son el índice generado de acuerdo con la tecnología empleada y la capacitación de personal para la coordinación gerencial de la administración de energía.

El presente documento informa de los resultados más interesantes, obtenidos durante el diagnóstico energético en las plantas de fabricación de hielo en los estados de Sinaloa y Yucatán, en esta encuesta se seleccionaron 7 plantas características de este proceso.

Sinaloa y Yucatán, en esta encuesta se seleccionaron 7 plantas características de este proceso.

### PROCESO PRODUCTIVO

La fabricación de hielo se realiza mediante un ciclo de refrigeración por compresión, basado en el principio de la compresión de vapor. Los sistemas de refrigeración y bombas de calor operan bajo el principio de la ebullición de líquidos puros a diferente temperatura y presión cuando el fluido hierve, absorbe calor latente. De manera inversa, cuando el vapor producido se condensa, cede el calor al medio ambiente.

Si el sistema se construye para que la ebullición se efectúe a una presión y la condensación a otra, el calor puede ser transferido desde un nivel de temperatura a otro. En refrigeración, se desea transferir calor desde media o baja temperatura a otra de mayor temperatura. El vapor producido por la ebullición del líquido a baja presión (evaporadores), se comprime y lleva a alta presión siendo condensado a alta temperatura (condensador).

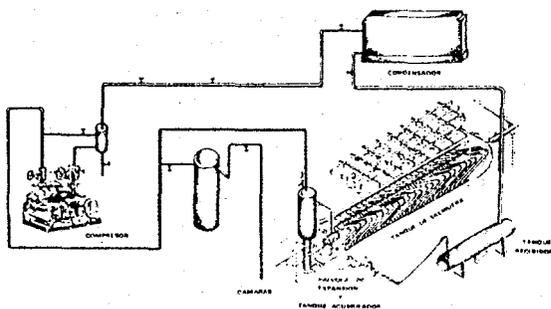
La compresión de vapor requiere de energía mecánica, entre mayor sea la diferencia entre presión condensante y la evaporante, mayor es la potencia requerida por el compresor para la misma cantidad de efecto refrigerante.

### SISTEMA TÍPICO DE REFRIGERACIÓN

En la siguiente figura se puede observar las partes constitutivas de un sistema de refrigeración típico, las cuales son básicamente:

- Compresor
- Condensador
- Evaporador
- Válvula de expansión

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN TÍPICO EN UNA FÁBRICA DE HIELO



### TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN

Cada empresa tiene su propio estilo de administrar la producción. Sin embargo prevalece la técnica de una producción cíclica y progresiva. Esto es, para el caso de la producción de barras, al llenado de moldes le sigue su introducción a la salmuera donde se producirá el hielo. El agua de alimentación a los moldes se efectúa a temperatura ambiente. Hecho el hielo del molde. Posteriormente, éste es enviado directamente a venta o almacenado en cámaras frías.

Para el caso de dos de las fabricas, durante el proceso de enfriamiento del agua, antes de solidificarse, se hace burbujear aire con el objeto de que el hielo sea más transparente y tenga una apariencia cristalina. La calidad del hielo no varía mas que en su aspecto físico.

La fabricación de cilindros se efectúa en un equipo llamado justamente cilindadora, la cual es una torre cilíndrica con un espejo de tubos verticales concéntricos, que hacen las veces de molde. A esta se alimenta agua por la parte superior y se llena la interfase cilíndrica. Para la descarga, se le hace pasar un flujo de gas caliente (amoníaco de la salida del compresor) para desprender el hielo formado de las paredes de los tubos. Los cilindros formados son recuperados en la parte inferior de la torre donde se almacenan en un recipiente abierto e inmediatamente se empacan en bolsas de plástico con una capacidad de 5 ó 20 Kg c/u. Estas bolsas son almacenadas en una cámara de refrigeración a una temperatura de 8°C. La fábrica de Progreso llega almacenarlas a -15°C.

### SISTEMAS EMPLEADOS.

Las fábricas de hielo emplean sistemas de refrigeración por compresión mecánica. Los compresores son del tipo recíprocante abierto. Para la producción de hielo en barras utilizan el sistema de tanques de salmuera a base de cloruro de sodio a una temperatura nominal de -8°C, aquí se encuentra inmerso el evaporador de tipo inundado.

La producción de cilindros se efectúa con el mismo tipo de compresores en donde el evaporador se encuentra en

pasan por una cortadora que genera los cubos de dimensiones constantes.

## RESULTADOS

El buen dimensionamiento de los equipos usados en la fabricación de hielo, reduce notablemente los consumos de energía, pues los sobredimensionamientos excesivos requieren de un consumo mayor.

La operación adecuada y acorde con la demanda estacional de hielo permite una administración de energía que reduce los costos de operación.

Estos dos factores influyen al menos en un 9% o más sobre la factura eléctrica.

El mantenimiento debe practicarse desde la etapa de predicción de fallas, en lugar de los mantenimientos correctivos, para este concepto en el sistema eléctrico se tiene:

### Area de Motores

Se observó el funcionamiento de los motores que operan en la industria, de acuerdo con el inventario obtenido del cual podemos concluir que:

El sobredimensionamiento de motores, al igual que en otras muchas ramas intensivas en energía, se presenta en la fabricación de hielo aumentando significativamente la carga de la planta, y por consiguiente, incrementando el consumo y la factura. Es recomendable eliminar totalmente los motores con operación en vacío, revisar aquellos con bajos factores de carga y de ser posible, instalar un driver o variador de velocidad, o bien reemplazarlos por nuevos motores eficientes (ahorradores). El ahorro de energía de esta medida generará ingresos para cubrir la inversión en un año cuando mucho.

MOTORES		
EMPRESA	% AHORRO DE ENERGIA	% AHORRO ECONOMICO
A	2.34	2.23
B	5.0	4.15
C	26.5	24.5

## ILUMINACIÓN

Respecto a iluminación, el consumo de energía fue evaluado en función de un conjunto de consideraciones que toman en cuenta las diferentes épocas del año y los hábitos y costumbres de operación en las plantas.

El sólo uso de lámparas eficientes permite ahorros en las fábricas de hielo como los que se mencionan en el cuadro siguiente.

EMPRESA	% AHORRO DE ENERGIA	% AHORRO ECONOMICO
A	1.9	1.78
B	2.1	1.90

## FACTOR DE DEMANDA.

El control de la demanda máxima, es un rubro que en las fábricas de hielo puede aportar grandes ahorros económicos.

Una buena programación de la producción en función de la demanda de hielo anual, puede llegar a generar ahorros equivalentes a tener parado un motor de 75 HP, cubriendo la demanda con los motores restantes.

EMPRESA	POTENCIAL ACTUAL Kw MAX.	POTENCIA ADMINISTRACION Kw MAX	% AHORRO ECONOMICO
A	271	211	7.0
B	504	433	2.9

## CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia se encuentra generalmente por abajo del mínimo permitido. La mayoría de las empresas

de hielo requieren corregir y en muchos casos instalar un banco de capacitores. Los factores de potencia registrados en las empresas estudiadas fueron del orden del 67 al 88% lo cual les produjo recargos desde 600 a 3,000 nuevos pesos mensuales.

### CAMBIO DE COMPRESORES

El cambio de los viejos compresores recíprocos, los cuales provocan grandes consumos de energía y generan mayores gastos por mantenimiento y paros no programados de la producción, permiten operar con mayor eficiencia y confiabilidad.

Este es uno de los cambios más drásticos en las plantas de fabricación de hielo pero también el que genera mayores ahorros y una excelente rentabilidad. Dependiendo de las condiciones actuales de las instalaciones es posible obtener ahorros económicos superiores al 30%.

EMPRESA	% AHORRO DE ENERGIA	% AHORRO ECONOMICO	PERIODO DE RETORNO AÑOS
A	35.84	43.2	2.25
B	28.18	36.77	2.58
C	21.06	26.32	2.58

### MANTENIMIENTO EN CONDENSADORES Y EVAPORADORES.

El deshielo frecuente de los serpentines evaporadores de las cámaras de refrigeración, su mantenimiento y, aún mejor, el cambio por difusores, ahorra energía al aumentar la eficiencia del sistema.

En los sistemas de tanques de salmuera convencionales se localiza el 15% de las pérdidas de una planta de hielo. En la práctica alcanzan mayores proporciones y por ello, a nivel mundial, tienden a ser desplazados por unidades compactas de producción de hielo molido que

cuentan con niveles de eficiencia mayores y requiere de espacios más reducidos.

A continuación se presentan dos casos descriptivos:

EMPRESA	% AHORRO DE ENERGIA	% AHORRO ECONOMICO
A	4.27	3.92
B	33.64	30.25

A continuación se presenta la tabla resumen de áreas de oportunidad de ahorro de energía eléctrica en la industria de fabricación de hielo.

AREA DE OPORTUNIDAD	AHORRO DE ENERGIA MW/ANO	AHORRO ECONOMICO MIL/ANO	CONSUMO ACTUAL MW/ANO	% AHORRO	INVERSION \$	PSR AÑOS
Limpieza de evaporadores y condensadores	525.876	71.335	1.828.1	32.30	10,000	0.84
Reajustamiento de aire de recambio	17.963	2.558	3.421	0.524	3,000	1.17
Control de humedad	96.758	13,219	2,853.28	3.24	-	INMED.
Elizaciones tipo Hühner (enfriamiento)	28,914	4,120.0	3,421	0.846	7,833	1.80
Cambio porci enrosc (modernización de equipos)	1,058,817	202,746	2,853.28	38.84	456,000	2.25
Aislamiento cilindros	8,474	1,207.5	3,421.0	0.25	1,180	0.06
Aislamiento cámaras	13,730	1,954	2,853.28	0.486	28,538	14.6
Motores	528,577	71,701	1,902.0	26.63	50,988	0.71
Iluminación	34,484	4,870	1,828.1	2.11	4,285	0.92
Evita calentamiento (refrigeración)	18,978	2,619.0	3,421	0.50	17,800	7.36
Corrección factor de potencia	-	37,088	3,421	-	18,380	0.50
Transformadores	0.263	36.75	1,002.00	0.012	-	-
Corrección factor de demanda	480.00	1,500.4	3,421	14.06	0.0	INMED.
Preajustamiento de agua	958,000	95,180	1,136	58.85	-	-

### CONCLUSIONES

El ahorro de energía que se logró en la industria del hielo ha tenido grandes avances, originándose con esto ahorros económicos muy atractivos, en el cual las medidas a realizar contemplaron cambios operativos con aproximadamente entre un 30 y 40% de ahorro para el caso de mantenimiento, se obtienen ahorros de 20 al 30%.

Para el caso de cambio de equipos se estima un ahorro superior al 40%, con un tiempo de recuperación de 2 a 3 años. Este es uno de los cambios más drásticos en las plantas de fabricación de hielo, pero también el que genera mayores ahorros y una excelente rentabilidad.

## **OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGIA DETECTADAS EN UN DIAGNOSTICO EFECTUADO EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION**

Autores

**Ing. Rolando Ramírez Bautista**  
Ingeniería, Industria y Energía

e

**Ing. Rogelio Magaña Castro**

Gerente de Industria

Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro  
de Energía del Sector Eléctrico  
(FIDE)

### **Resumen**

La industria de la fundición es una de las principales ramas industriales en la utilización de la energía eléctrica a nivel nacional, por esta razón se realizó un diagnóstico energético en empresas representativas de este proceso y en las cuales se obtuvieron excelentes resultados en cuanto a áreas de oportunidad, teniendo potenciales que van desde un 15 hasta un 40% de ahorro con relación al consumo de energía, con medidas que se recuperan en menos de 15 meses.

#### **1. Importancia Económica de la Rama de la Fundición**

La actividad productiva de la fundición forma parte de la industria Siderúrgica Nacional, ubicándose, de acuerdo a las estadísticas oficiales, dentro de la Industria Básica del Hierro y el Acero, denominándosele, en forma específica, "Fundición y laminación primaria del hierro y el acero".

De acuerdo a la información estadística disponible para esta rama, las empresas dedicadas a esta actividad generaron en 1990 una producción con valor de 6,127 millones de nuevos pesos, de la cual poco más del 60% se realizó mediante hornos eléctricos.

En cuanto a otras características de la rama de la fundición, cabe destacar que para 1992 se tienen inscritas en el directorio de la Sociedad Mexicana de Fundidores 1405 empresas fundidoras. Por otro lado, de acuerdo a la Encuesta Mensual de INEGI de un total de 90 mil personas ocupadas en la industria siderúrgica en los últimos años, aproximadamente el 30% corresponde a la industria de la fundición.

Por último, cabe destacar que debido a las modalidades de sus procesos de producción, la industria siderúrgica realiza un consumo intensivo de energía.

#### **2. Características Productivas y Energéticas de las Empresas Muestra**

Con el objeto de conocer la forma en que se utiliza la energía principalmente la electricidad, se llevó a cabo un "Diagnóstico Energético en la Rama de la Fundición" en cuatro empresas muestra cuyas características principales se resumen en el cuadro que se presenta a continuación.

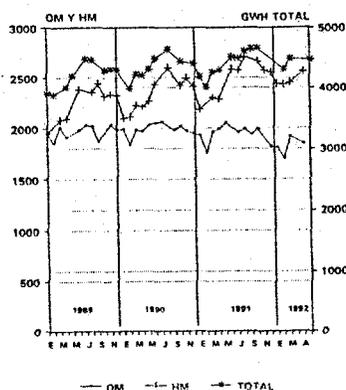
Por lo que se refiere a la participación de las diferentes fuentes de energía en los procesos productivos de las empresas seleccionadas, cabe subrayar que la electricidad constituye el energético principal en todos los casos, en términos de costos. De esta manera, la energía eléctrica representa entre el 79% y el 100% del costo en energéticos, mientras que en términos de energía, oscila entre el 35 y 100% de la total consumida de las empresas de la muestra.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS EMPRESAS MUESTRA				
CARACTERIST.	A	B	C	D
Tipo de producto	Fundición y maquinado de árboles de levas y flechas en hierro gris para motores	Fundición de chatarra para la fabricación de artículos y refacciones en hierro maleable modular.	Fabricación de ejes de carga traseros, accesorios y refacciones para el auto transporte	Fundición de piezas de hierro gris de alta resistencia, válvulas industriales, conexiones para redes de agua potable y misceláneas
Promedio mensual de los principales parámetros eléctricos	Energía: 558,000 Kwh Dem. máxima: 2,139 KW Fac. de carga: 38.1% Fac. de potencia: 87.94% Facturación: N\$115,000	Energía: 238,727 kWh Dem. máxima: 789 kW Fac. de carga: 41.3% Fac. de potencia: 96.6% Facturación: N\$45,400	Energía: 98,833 kWh Dem. máxima: 421 kW Fac. de carga: 32% Fac. de potencia: 91.6% Facturación: N\$21,700	Energía: 31,667 kWh Dem. máxima: 326 kW Fac. de carga: 13.52% Fac. de potencia: 93% Facturación: N\$11,000

Se tiene también la participación en los procesos productivos de otros combustibles como el gas natural y el gas L.P., así como el oxígeno como comburente. Sin embargo, dada su participación en términos de costos y energía, el análisis de las fuentes de energía y de los indicadores correspondientes se centrará en la electricidad como elemento energético primordial en la industria de la fundición.

Pasemos ahora al panorama nacional, en la gráfica observamos el crecimiento en el consumo de energía eléctrica durante los últimos cuatro años en las tarifas OM y HM que corresponden a grandes y medianos consumidores. La tendencia en los grandes consumidores es la de permanecer estable en su demanda, no así en los medianos en que muestra una clara tendencia al crecimiento. A reserva de que un investigador realice un análisis profundo sobre el tema, para nuestro caso exhibe lo que ya es conocido, las grandes empresas han establecido programas de racionalización en el uso de la energía eléctrica, no así los medianos y pequeños empresarios.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA INDUSTRIAL 1989-1992 GWH



### 3. Principales Sistemas de Energía

En este apartado se analizan los diferentes tipos de energía empleados en cada una de las empresas a las que se les realizó el diagnóstico energético. Ello con la finalidad de comparar desde el punto de vista económico, la participación que tiene cada uno de dichos energéticos en los costos de producción, en el rubro referente a energía.

En términos porcentuales, los costos por los diferentes energéticos empleados en cada una de las empresas de la muestra, se distribuyen como sigue: **Arbomex (A)**, 76.2% energía eléctrica, 6.2% gas L.P. y 17.6% oxígeno; **Prohimsa (B)**, 85.4% energía eléctrica y 14.6% gas natural; **Sudisa (C)**, 100% energía eléctrica; y en **Nardo (D)**, 96.2% energía eléctrica y 3.8% gas L.P.

De lo anterior se concluye que en términos de costo, la energía eléctrica tiene una mayor participación respecto a los otros tipos de energía empleados, lo cual se cumple para las cuatro empresas analizadas.

### 4. Índices Energéticos

La cantidad de energía necesaria para la fabricación de una tonelada de producto, así como el costo que ésta representa, es importante desde el punto de vista del ahorro de energía, ya que las acciones que se implanten para alcanzar dichos ahorros, se verán reflejadas en tales índices.

## CONSUMOS DE ENERGIA POR FUSION DE METAL

EMPRESA	CONSUMO ESPECIFICO kWh/ton
A	857
B	1,010
C	1,035
En E.U.A. 550-650	

## 5. Características de los Principales Consumidores de Energía Eléctrica

EMPRESA	AREA	EQUIPO	CAPACIDAD NOMINAL KW	CONSUMO ESPECIFICO kWH/Ton	EFICIENCIA %
A	Fundición	Horno de inducción Compresor No.1 Compresor No. 2	1250 136 136	857	38.72
B	Fundición	Horno de inducción	500	1010	34.8
C	Tratam. Térmicos	Horno de inducción para templado Horno de inducción para revenido	545 375	147 50	---
D	Fundición	Horno de inducción	250	1035	34.08

El horno de inducción de la empresa A, presenta la mayor capacidad nominal por lo que su participación en la demanda y el consumo de energía en el total es la más importante. De igual manera, los hornos de las demás empresas, aunque de menor capacidad son los que tienen la mayor participación en la demanda y el consumo.

Los consumos específicos de los hornos pueden ser comparados con los estándares existentes, que establecen que, para un horno, el consumo específico se encuentra en el rango de 550 a 750 kWh/ton, para una eficiencia de aproximadamente el 70%, las variaciones en el consumo que pudieran presentarse pueden deberse a las diversas modalidades de operación de los hornos.

Entonces, al comparar los consumos anteriores con los de las empresas A, B y D, se aprecia que estos últimos se encuentran muy por arriba de ellos, lo cual es consecuencia de la eficiencia con la que se encuentran operando, que es baja, y con la forma de operar dichos hornos. Los consumos de la empresa C no son comparables debido a que sólo realiza tratamientos térmicos. Las eficiencias mostradas en el cuadro anterior son reales, pues fueron calculadas a partir de los siguientes parámetros medidos durante la operación de cada horno. Temperatura de carga de la chatarra, temperatura de vaciado, peso del material procesado, consumo de energía eléctrica así como el calor específico del metal.

A continuación, se muestran las áreas de oportunidad que se detectaron en las empresas muestra que participaron en el diagnóstico energético, las cuales implican inversiones bajas que se recuperan en menos de 15 meses y con ahorros tan importantes en el consumo de hasta 39.5% y de un 20.5% en su demanda.

#### Ahorros Económicos y Energéticos Derivados de la Aplicación de las Medidas Enunciadas.

En el presente apartado se presentan los ahorros económicos y energéticos derivados de la aplicación de las principales acciones para el ahorro de energía eléctrica en las empresas seleccionadas.

Con el propósito de precisar una cifra promedio porcentual de los ahorros que pueden obtenerse como resultados de la introducción de las principales medidas de eficiencia propuestas para el conjunto de empresas muestra, a continuación se incluye un cuadro resumen de dichos beneficios, en cifras porcentuales respecto a la facturación total anual por concepto de energía eléctrica para cada una de las empresas estudiadas.

### AREAS DE OPORTUNIDAD PARA EL AHORRO DE ENERGIA

#### Areas de Oportunidad y Acciones Inmediatas para el Ahorro de Energía

AREAS DE OPORTUNIDAD	ACCIONES
El horno no se tapa	Cuidar que las tapas funcionen, y quitar periódicamente los residuos de la tapa del horno, e intensificar la supervisión para que el horno esté tapado permanentemente.
Los hornos trabajan a su potencia máxima en el horario pico.	Operar el horno tapado y la carga eléctrica mínima en el horario pico, manteniendo la potencia constante para compensar las pérdidas normales.
La chatarra tiene dimensiones mayores que las adecuadas.	Adquirir chatarra en pacas con dimensiones menores a 43 cm. de largo y trozar los árboles de levas que forman parte de la chatarra.
El tiempo de carga de la chatarra al horno es prolongado.	Preparar la chatarra con anticipación; cargar el horno en una sola operación e instalar el equipo adecuado para la carga.
Se vacían del horno dos o más ollas por ciclo.	Vaciar una sola olla o máximo dos por colada, para reducir al mínimo las pérdidas térmicas al realizar esta operación.
No se conoce el porcentaje de escoria.	Pesar la escoria periódicamente
Las máquinas de templado en el área de maquinado están operando a bajo factor de utilización y sin embargo, siguen operando en el horario pico.	Dejar de operar tales máquinas en el horario pico e intensificar el proceso en el horario normal.
Existen diferencias en los procedimientos de operación del horno para templado por los diversos operadores del mismo, lo que genera valores diversos respecto a potencias máximas y mínimas.	Homogeneizar los procedimientos de operación de este horno, lo que podría generar ahorros en la facturación mensual de energía eléctrica.

El horno de inducción para revenido opera a factor de potencia real de 51%, lo que significa que absorbe energía relativa en exceso.	Proporcionar mantenimiento integral al sistema de compensación de potencia reactiva del horno de revenido, a fin de que opere a factor de potencia unitario.
El horno eléctrico de inducción en operación (TRI-LINE) carece de control automático de potencia de entrada, por lo que los valores máximos de demanda son altos y registran variaciones importantes y el índice de consumo específico es elevado.	Sustituir el horno TRI-LINE por el horno de reserva VIP POWER TRAK, que tiene control interno automático de potencia de entrada. Su demanda e índices de consumo son menores y cercanos al óptimo.
El número de rechazos derivados de la fundición es elevado.	Investigar las causas y fortalecer los procedimientos de control de calidad.
El equipo de medición necesita calibración	Elaborar los procedimientos para establecer un programa de calibración de instrumentos.
La chatarra no se precalienta	Efectuar un estudio técnico económico con pruebas en un equipo experimental para precalentar la chatarra.
La capacidad del área de moldeo es inferior a la capacidad de producción del horno, lo que origina un alto consumo de kWh/ton., por tiempo de espera.	Adecuar la capacidad de moldeo a la del horno.
No hay forma de saber cuando se rebasa la demanda programada (kW) en la operación del horno, ni es posible llevar control de los kWh que deben suministrarse para cada carga de chatarra.	Instalar un equipo de medición de energía eléctrica con alarma para un valor preseleccionado de demanda máxima (kW) y con registro para el consumo de energía (kWh).
Los compresores del área de fundición operan normalmente en el horario pico.	Instalar tanques para almacenar el aire y utilizarlo en el horario pico y que los compresores no operen por lapsos mayores a 5 min., descansando otros 5 min.
La eficiencia global de los hornos de tratamiento térmico a gas es muy baja.	Mejorar el aislamiento en las paredes y techo de los hornos y evaluar el aire de combustión con los gases de salida.
No se llevan a cabo controles sobre las temperaturas de operación del horno, de la óptima para realizar el vaciado del hierro fundido, ya que no se cuenta con aparatos de medición.	Se recomienda la instalación de un pirómetro de contacto y óptico, lo cual evitará sobrecalentamientos y permitirá controlar las temperaturas requeridas en las distintas etapas del proceso, y un contador de kW para controlar la cantidad de energía que se debe suministrar para cada ciclo.

**PORCENTAJES DE AHORROS MINIMOS RESPECTO A LA FACTURACION ANUAL DE ENERGIA ELECTRICA,  
DERIVADOS DE LA APLICACION DE LAS  
ACCIONES PROPUESTAS**

<b>E M P R E S A</b>	<b>% DE AHORRO RESPECTO A LA FACTURACIÓN ANUAL</b>
<b>A</b>	14.80
<b>B</b>	44.30
<b>C</b>	12.30
<b>D</b>	35.5
<b>PROMEDIO SIMPLE</b>	26.73

A continuación se incluye un cuadro que desglosa las principales medidas de ahorro de energía aplicadas en cada empresa de la muestra, así como los resultados en términos de kW, kWh y monetarios y los períodos de recuperación de la inversión, en caso de requerirse ésta.

CUADRO RESUMEN DE ACCIONES POTENCIALES EN LAS EMPRESAS MUESTRA DE LA RAMA DE LA FUNDICION

CONCEPTO	POTENCIALES DE AHORRO MENSUALES				INVERSION REQUERIDA NI	TIEMPO DE RECUPERACION MESES
	KW	KWh	NI	%		
<b>EMPRESA A</b>						
Disminuir la potencia del horno en el horario pico de 480 a 200 kW	280 12.2%	20,800 3.7%	8,947	7.3	0	Inmediato
Reducir el consumo en el horario de 857 kWh/ton a 672 kWh/ton con correcciones a los procedimientos de operación	—	21,401	4,823	3.9	0	Inmediato
Disminuir la potencia de los compresores en el horario pico, de 90 a 45 kW.	45 2.1%	3,600 0.6%	1,548	1.3	15,000	13
Disminuir la potencia en el área de templado en el horario pico.	80 3.7%	6,400 1.2%	2,753	2.3	0	Inmediato
<b>TOTAL</b>	<b>385 18.9%</b>	<b>52,201 9.3%</b>	<b>18,071</b>	<b>14.8</b>	<b>15,000</b>	<b>—</b>
<b>EMPRESA B</b>						
Precalentamiento de chatarra a 1000 °F (538 °C).	—	36,183 15.2%	5,383	11.8	50,000	13
Reducción de la demanda utilizando el horno de inducción VPT.	160 20.5%	—	3,694	8.1	0	Inmediato
Reducción del consumo utilizando el horno de inducción VPT.	—	59,769 21.3%	9,707	21.4	0	Inmediato
Reducción del consumo por menor tiempo de fundición con la tapa del cristal operando	—	3,661 1.5%	700	1.5	0	Inmediato
Reducción del consumo por utilización de chatarra limpia.	—	3,661 1.5%	700	1.5	0	Inmediato
<b>TOTAL</b>	<b>160 28.5%</b>	<b>94,214 39.5%</b>	<b>20,184</b>	<b>44.3</b>	<b>50,000</b>	<b>—</b>
<b>EMPRESA C</b>						
Reducción de la demanda en el horno de inducción para templado.	—	—	2,032	9.3	0	Inmediato
Reducción de la demanda en el horno de inducción para revenido.	—	—	366	1.8	0	Inmediato
Modificación del procedimiento de operación del transformador de 1.5 MVA.	—	1,131 1.4%	755	1.2	0	Inmediato
<b>TOTAL</b>	<b>104.7 24.9%</b>	<b>1,131 1.4%</b>	<b>2,873</b>	<b>12.3</b>	<b>0</b>	<b>—</b>
<b>EMPRESA D</b>						
Operar tapa del cristal del horno y reducir el contenido de escoria en la chatarra.	—	8,901 28.1%	3,126	28.4	7,671	3
Reducción de la potencia al operar la tapa del cristal.	32.8 10.1%	—	781	7.1	0	Inmediato
<b>TOTAL</b>	<b>32.8 10.1%</b>	<b>8,901 28.1%</b>	<b>3,919</b>	<b>35.5</b>	<b>7,671</b>	<b>—</b>

## EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA Y SU IMPACTO EN LA INDUSTRIA MINERA

Autor

Lic. José Antonio Urteaga Dufour

Coordinador de Industria

Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía

del Sector Eléctrico

FIDE

### Resumen

En este trabajo, se presentan los resultados más importantes, obtenidos en el diagnóstico energético realizado en algunas empresas representativas de la rama de la minería, en donde se detectaron áreas de oportunidad de ahorro de energía eléctrica que van desde aquellas medidas que no requieren inversiones hasta las que requieren medianas inversiones, recuperables en menos de dos años como máximo y con ahorros de energía que van desde un 10% hasta un 25%.

### Antecedentes

Los resultados obtenidos en proyectos relacionados con la optimización del consumo de energía en las plantas industriales permite aumentar su rentabilidad operativa, y los mejores resultados se logran cuando las acciones se organizan en forma "integral", abarcando todo tipo de energía, todas las áreas de la planta y todos los ahorros posibles.

Este es el fundamento metodológico de la realización de los proyectos demostrativos que han venido desarrollando el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), cuyos resultados son de alcance nacional, ya sea por la magnitud de los consumos de las ramas seleccionadas o por la posibilidad de extrapolar los resultados a gran número de empresas semejantes.

Para conocer los potenciales de ahorro en la rama industrial minera, el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), llevó a cabo el proyecto de "Diagnóstico Energético en la Rama Industrial Minera", tomando en cuenta como muestra dos empresas mineras que son: Minera San Francisco del Oro, S.A. de C.V. y Minerales Metálicos del Norte, S.A. de C.V., que en lo sucesivo las denominaremos empresas "A" y "B" respectivamente.

Este documento sobre ahorro de energía eléctrica en la industria minera, pretende dar a conocer los resultados

del diagnóstico energético en las dos empresas. Las medidas de ahorro de energía sugeridas, aquí, pueden utilizarse como referencia cualitativa para cualquier planta del sector.

Los productos principales de estas mineras son: concentrado de plomo, concentrado de zinc y concentrado de cobre.

A continuación se presenta un resumen de las características de las empresas mineras; por ser representativas de este tipo de industria.

### Proceso Productivo

El proceso productivo comienza en cada mina con el tumbe y acarreo del mineral a través de los distintos métodos de minado los cuales son:

- Tumbe sobre carga
- Barrenación larga
- Corte y relleno hidráulico o con tepetate

**Tumbe sobre carga.** Se barrena con máquina de pierna y la extracción se realiza por medio de chutes que descargan sobre carros de vía o por medio de chorros en los cuales se rezaga con pala Neumática o Scoop Tram.

**Barrenación Larga.** Se diseñan subniveles a lo ancho de la veta con separaciones entre ellos que dependen del equipo de barrenación con que se cuenta. En el extremo del cuerpo se cuele un contrapozo y sobre este se barrena a desborde para hacer la ranura de salida. A partir de la ranura se barrena en forma paralela y retroceso hasta el otro extremo del cuerpo mineralizado. La extracción se efectúa por medio de cruceros al bajo con Scoop Tram que vacían en metaleras generales.

**Corte y Relleno.** Este tipo de minado se divide en 3 módulos:

#### Módulo 1

**Barrenación.** Para disparar y tumbar el mineral.

#### Módulo 2

**Producción.** Se produce la cuota asignada al rebaje hasta que se termine el mineral cortado o tumbado.

#### Módulo 3

**Relleno.** Se rellena un hueco equivalente al mineral extraído como cuota por unidad de tiempo. Este relleno se realiza con jal, para relleno hidráulico, el cual son las colas del molino o con tepetate que puede ser cortado del exterior y trasladado hasta la zona a rellenar por medio de contrapozos Robbins.

**Acarreo.** El acarreo se realiza por locomotoras trolley desde los estopes hasta las bolsas de manto.

**Manteo.** Este consiste en la extracción del mineral desde las tolvas de manto hasta la superficie a través de botes de manto accionados por un malacate.

**Trituración.** La trituración del mineral comienza en cada mina para posteriormente pasar a una tolva de gruesos localizada en la planta de beneficio. Después es reducido el tamaño del mineral hasta el tamaño requerido para la molienda por medio de quebradoras para pasar a la tolva de tinos de donde es trasladado a los molinos.

**Molienda.** Su función es acondicionar el mineral a un tamaño óptimo para lograr la liberación de los valores; principalmente a través de molinos de bolas.

**Flotación.** Su función es colectar los valores en concentrados y separarlos del material estéril. Se sigue el método usual para el tratamiento de los minerales complejos de Pb, Cu, Zn y Fe, es decir, flotación selectiva de Pb-Cu, deprimiendo Zn y Fe, seguido de la flotación del zinc de las colas del circuito de Pb-Cu, separación plomo-cobre y reflotación de plomo en el concentrado de zinc.

**Espesado y Filtrado.** Los concentrados provenientes de flotación son pasados a los tanques espesadores para después ser cicloneado a los depósitos de los filtros. Por último los concentrados son almacenados para posteriormente ser embarcados a su respectiva planta fundidora.

#### Sistemas Auxiliares.

- Bombeo en el interior de minas
- Aire Comprimido
- Ventilación
- Bombeo de Jales

**Bombeo en el Interior de Minas.** Este bombeo tiene como objetivo principal el desalojar el agua que se filtra en los niveles de trabajo, la cual es aprovechada para diversos fines.

**Aire Comprimido.** En cada una de las minas se requiere una gran cantidad de aire comprimido para las operaciones y es utilizado principalmente en equipo neumático tales como: equipo para barrenación, palas neumáticas, descarga a locomotoras, etc.

**Ventilación.** El aire es forzado a bajar por los tiros por medio de extractores gigantes con motores de 150 y 200 HP colocados estratégicamente en superficie y sobre contrapozos Robbins.

**Bombeo de Jales.** Las colas finales son manejadas por medio de bombeo y tubería. La pulpa es bombeada a contraciclón, las arenas son utilizadas para el relleno de las minas y las lamas (derrame de ciclón) son enviadas a un espesador para la recuperación del agua. Las arenas y lamas espesadas con bombeadas a la presa de Jales.

### **Características Energéticas**

La empresa "A" tenía una tarifa contratada en su subestación principal de 110 Kv en H-S hasta julio de 1993, pero a partir de agosto se cambió a tarifa H-SL, estimándose ahorros del 1.7% (sobre la facturación) sólo por el cambio de tarifa.

La empresa "B" tiene una tarifa contratada en HM en sus principales áreas de consumo y producción las cuales son seis.

### **Producción**

En la siguiente tabla se muestran las toneladas molidas promedio así como los totales durante 1992 para cada una de las mineras:

#### **Producción (Ene-Dic 1992)**

Minera	Prom. Mensual Tons.	Total 1992 Tons.
Empresa "A"	87,685	105,222
Empresa "B"	75,723	908,676

### **Áreas de Oportunidad para el Ahorro de Energía eléctrica**

El análisis del comportamiento de los diversos sistemas del procesos en cada una de las mineras, mostró potenciales interesantes en la optimización del consumo de energía eléctrica. A continuación se presentan las conclusiones a dicho análisis.

#### **Descripción de las Recomendaciones y medidas de ahorro de energía eléctrica.**

##### **"Empresa A"**

**Sellado de fugas en la línea de aire comprimido.** Las minas que durante el estudio se encontraban en operación y con alimentación de aire comprimido a sus niveles de trabajo son: Mina Granadeña, Mina Frisco y Mina la Mesa, el total de pérdidas de aire comprimido detectado fue de 2,515 Ft<sup>3</sup>/min que representan una pérdida de N\$ 25,713.25 (MN.) al mes.

**Paro de trituración en horario pico de la planta de beneficio.** El departamento de trituración actualmente es un departamento que no realiza un trabajo continuo debido principalmente a que se tienen muchos paros por mantenimiento correctivo por lo que se puede realizar un paro programado de 4 hrs. al día en el cual se puede implementar un programa de mantenimiento preventivo que permita eliminar los paros por mantenimiento correctivo y traiga con síglo un ahorro de energía en el horario pico descritos en la tabla de resumen mostrada anteriormente.

**Paro del área de filtrado en horario pico de la planta de beneficio.** Esta oportunidad de ahorro se fundamenta en detener la carga principal del área de filtrado durante el horario pico. Esta carga la forman las bombas Nash No. 1 y la No. 2 (de una capacidad de 125 y 100 Hp) respectivamente utilizando este tiempo de paro para efectuar trabajos de mantenimiento preventivo.

**Paro del motor-generador de C.D. del malacate de Mina Frisco cuando no se este usando.** El sistema motor-generador de C.D. con motor de 1,200 Hp. que alimenta al motor de C.D. del malacate de la mina, funciona continuamente aún en períodos superiores a una hora en los que la calesa permanece sin movimiento. (observado por medio de un analizador de redes). Lo que se propone es programar el movimiento de la calesa, de modo que se pueda detener al motor-generador cuando no haya movimiento por períodos prolongados de tiempo. Según lo observado por el analizador de redes, no existe pico de demanda en el arranque del sistema.

**Cambio del horario de manto en la mina la Mesa.** Durante el estudio, en la mina la Mesa se realizaban trabajos de mantenimiento al tiro y movimiento de personal durante el primer turno (7:00 hrs. a 15:00 hrs.), por lo que la demanda eléctrica del motor de 500 Hp del malacate es pequeña y se tiene un consumo bajo. En el segundo turno (15:00 hrs. a 23:00 hrs.) se realizan los trabajos de manto (extracción del mineral a través del malacate con el bote de manto) aumentando considerablemente la demanda así como el consumo en el horario pico.

Lo que se propuso fue cambiar el horario de manto en la mina, del horario pico al horario base y de esta manera aprovechar las ventajas que presenta la tarifa horaria y realizar mantenimiento al tiro dentro del horario pico, con los ahorros descritos en la tabla de oportunidades de

ahorro.

**Apagar iluminación de vestidores en minas cuando no se estén usando.** Actualmente, el alumbrado tanto fluorescente como incandescente de los vestidores de las minas permanece encendido las 24 horas del día. Las entradas y salidas del personal están bien definidas, por lo que la medida podría realizarse y en lugar de mantener encendida la iluminación las 24 horas del día sin aprovecharla, se reducirá únicamente a 5 ó 6 horas (2 horas por turno).

**Aumento de eficiencia de las estaciones de bombeo mina frisco.** En la mina frisco Tiro Norte, se encuentra la mayor carga de bombeo en las minas con un total de 3,785 Hp de carga instalada en bombeo, el llevar el caudal entregado por las bombas hasta el nominal representan los ahorros descritos en la tabla de potenciales de ahorro para esta minera.

**Paro programado de ventiladores gigantes.** Durante el proyecto, los ventiladores gigantes trabajaban durante las 24 hrs. del día, no pudiéndose realizar paros manuales para asegurar la administración de la demanda de los mismos ya que se encuentran alejados de los lugares de trabajo.

Se propuso la utilización de timers para asegurar un paro oportuno de los motores de los ventiladores y obtener los ahorros descritos (4 ventiladores para un total de 750 Hp).

**Sustitución de lámparas de V.M. por lámparas de V.S. ahorradoras de energía.** Actualmente, existen en el mercado lámparas de vapor de sodio de 215 W ahorradoras de energía que se pueden instalar en los mismos balastos de las lámparas de vapor de mercurio de 400 W sin afectar los niveles de iluminación actuales (23,000 lúmenes por lámpara de 215 W).

**Corrección del F.P. en mina Clarines.** Para mejorar el factor de potencia, de un 78% con que se cuenta a un 98%, se requiere de la instalación de 250 Kvar de carga capacitiva. Los capacitores necesarios, se propone distribuirlos en los motores eléctricos lo más cercano a la carga posible y después de los arrancadores, esto para eliminar los reactivos consumidos por la línea de conducción desde la toma de potencia hasta el lugar donde se encuentra el motor, así como para evitar las pérdidas de potencia en la línea.

**Cambio de la succión del aire del compresor de manto a un lugar más fresco.** A temperatura más baja, la densidad del aire aumenta, por lo que para el mismo volumen la cantidad de masa de aire es mayor. Al succionar el compresor aire más denso por estar a más baja temperatura, este comprime más masa de aire con el mismo trabajo.

**Administración de la demanda en bombeo de mina Clarines.** Esta oportunidad de ahorro se fundamenta en controlar el encendido de las bombas de los niveles 5 y 9 de la mina Clarines a través de un controlador programable e interruptores de flotación con temporizadores, desfazando los tiempos de encendido sin permitir el derramamiento del agua de las pilas.

Con la forma de encendido, actual de las bombas de los niveles, la cual consiste en interruptores de nivel con flotador, al irse la energía y volver de nuevo, la demanda se incrementa debido al acumulamiento de agua en las pilas de los niveles antes mencionados. Esta demanda significa un pago adicional de 500.00 a 650.00 nuevos pesos.

#### *Empresa "B"*

**Aumento de eficiencia en sistemas de bombeo en interior de minas.** El llevar el caudal entregado por las bombas hasta el nominal representan los ahorros descritos en la tabla de potenciales de ahorro para esta minera. Se tiene una capacidad instalada de 10,000 GPM, sin embargo, a través de las mediciones de flujo de cada bomba, se registró un flujo total de 6,341 GPM.

**Paro de Bombeo en Minas en horario pico.** Para la realización de esta medida, es necesario que las pilas del almacenamiento de agua sean acondicionadas para resistir el paro del bombeo durante el horario de punta. Los ahorros obtenidos por este concepto se muestran en la tabla de oportunidades de ahorro.

**Reparación de las fugas de aire en los sistemas de aire comprimido.** El total de pérdidas por fugas detectadas de aire comprimido en los diferentes complejos que forman la minera (Complejo Segovedas Cobriza, Complejo San Diego y Complejo Tecolotes) fue de 2,709 Ft<sup>3</sup>/min. cuya reparación representa los ahorros descritos en la tabla respectiva.

**Cambio de tarifa H-S a tarifa H-SL.** Esta medida de ahorro se inició en el mes de Agosto de 1992, estimándose ahorros del 1.7% sobre la Facturación mensual total que representan N\$ 218,106.00 anual sin inversión, para que se cumplan estos ahorros es necesario que el factor de carga sea mayor al 6.5%.

**Paro del departamento de trituración durante el horario pico.** En la etapa de molienda se requiere que el mineral cumpla con un cierto tamaño el cual se le da en el departamento de trituración en el que se tienen 3 quebradoras de 300 hp. Estos motores trabajaban en el turno de 3:00 pm a 11:00 pm y parte del turno de 11:00 pm a 7:00 am y se realizaban trabajos de limpieza y mantenimiento en el turno de 7:00 am a 3:00 pm.

Se propuso cambiar el horario de operación de las quebradoras para aprovechar los beneficios de la tarifa H-S, lo cual se realizó.

**Ubicar la succión de los compresores hacia lugares con temperaturas más bajas.** A temperatura más baja, la densidad del aire aumenta, por lo que para el mismo volumen, la cantidad de masa de aire es mayor. Al succionar el compresor aire más denso por estar a más baja temperatura, este comprime más masa de aire con el mismo trabajo.

**Paro de extractores gigantes.** En la unidad minera se cuentan con extractores gigantes con motores de 200 hp para ventilar los tiros y extraer los gases de la mina.

Para implementar esta medida, se instalaron equipos que controlan el encendido y apagado de los extractores para disminuir el tiempo de operación de los mismos

**Cambio de alumbrado de V.M. de 400 W por V.S. de 250 W.** El alumbrado de vapor de mercurio se encuentra principalmente en los departamentos de Molinos, Flotación y Trituración, durante el estudio, ya se habían reemplazado la totalidad de las lámparas del departamento de Molinos, las demás áreas estaban en espera de las lámparas de v.s. DE 250 VW.

**Sellado de fugas en la línea de aire comprimido.** Las minas que durante el estudio se encontraban en operación y con alimentación de aire comprimido a sus niveles de trabajo son Mina Granadeña, Mina Frisco y Mina la Mesa, el total de pérdidas de aire comprimido

detectado fue de 2,515 ft<sup>3</sup>/min que representan una pérdida de N\$ 25,713.25 (MN.) al mes.

**Paro de trituración en horario pico de la planta de beneficio.** El departamento de trituración actualmente es un departamento que no realiza un trabajo continuo debido principalmente a que se tienen muchos paros por mantenimiento correctivo por lo que se puede realizar un paro programado de 4 horas. al día en el cual se puede implementar un programa de mantenimiento preventivo que permita eliminar los paros por mantenimiento correctivo y obtener un ahorro de energía en el horario pico descritos en la tabla de resumen mostrada anteriormente.

**Paro del área de filtrado en horario pico de la planta de beneficio.** Esta oportunidad de ahorro se fundamenta en detener la carga principal del área de filtrado durante el horario pico. Esta carga la forman las bombas Nash No. 1 y la No. 2 (de una capacidad de 125 y 100 Hp, respectivamente) utilizando este tiempo de paro para efectuar trabajos de mantenimiento preventivo.

**Paro del motor-generador de C.D. del malacate de Mina Frisco cuando no se este usando.** El sistema motor-generador de C.D. con motor de 1,200 Hp que alimenta al motor de C.D. del malacate de la mina funciona continuamente aún en períodos superiores a una hora en los que la calesa permanece sin movimiento (observado por medio de un analizador de redes). Lo que se propone es programar el movimiento de la calesa, de modo que se pueda detener al motor-generador cuando no haya movimiento por períodos prolongados de tiempo. Según lo observado por el analizador de redes, no existe pico de demanda en el arranque del sistema.

**Cambio de horario de manteo en la mina la Mesa.** Durante el proyecto en la mina la Mesa, se realizaban trabajos de mantenimiento al tiro y movimiento de personal durante el primer turno (7:00 hrs. a 15:00 hrs.), por lo que la demanda eléctrica del motor de 500 Hp del malacate es pequeña y se tiene un consumo bajo. En el segundo turno (15:00 hrs. a 23:00 hrs) se realizan los trabajos de manteo (extracción del mineral a través del malacate con el bote de manteo) aumentando considerablemente la demanda así como el consumo en el horario pico.

Enseguida se presentan las tablas resumen de resultados de las principales áreas de oportunidad detectadas en las empresas mineras analizadas.

En dichas tablas se muestran las principales áreas de oportunidad que se determinaron durante el diagnóstico energético realizado en la rama industrial minera, de esto se pretende que a través de la realización de las medidas de ahorro energético poder dar a conocer los resultados a las empresas similares y de esta manera, generar el efecto multiplicador en dichas empresas.

Lo más importante de este proyecto es el hecho de que actualmente las empresas están realizando acciones por su propia cuenta después de analizar los resultados del diagnóstico.

### **Conclusiones**

El poder determinar las áreas de oportunidad en empresas de este tipo de rama industrial, las cuales son altas consumidoras de energía eléctrica y demostrar que existen altos potenciales de ahorro, es algo muy importante; principalmente porque este tipo de acciones colabora en una forma directa a incrementar la eficiencia energética de dichas plantas, obteniéndose altos beneficios económicos llegando hasta representar más de un 13% de sus costos energéticos.

TABLA RESUMEN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO

CLASIFICACION SEGUN PLAZO DE RETORNO DE INVERSION	No.	OPORTUNIDAD DE AHORRO	AHORROS DE ENERGIA MENSUAL			AHORRO EN COSTO ANUAL N\$ (M.N.)	% AHORRO FACT. BASICA TOTAL	INVERSION N\$ (M.N.)	AÑOS
			KW DEM	KWH BASE	KWH PICO				
INMEDIATO	1	Sellado de fugas en la Línea de Aire Comprimido en Minas	---	145,940.00	36,637.00	308,559.00	2.9	Nula	0.00
	2	Paro del área de trituración al Horario Pico de la Planta de Beneficio.	180	---	20,250.00	100,800.00	0.91	Nula	0.00
	3	Paro del área de Filtrado en Horario pico de la Planta de Beneficio.	30	---	15,861.00	60,378.00	0.55	Nula	0.00
	4	Paro del motor-generator de minas Frisco cuando no se esta usando.	---	39,837.30	---	59,812.70	0.54	Nula	0.00
	5	Cambio del Horario de Manteo Mina la Mesa.	170	---	11,032.00	59,196.00	0.53	Nula	0.00
	6	Apagar Iluminación de vestidores en Minas cuando no se estén usando.	---	2,695	649.00	5,647.56	0.05	Nula	0.00
CORTO	7	Aumento de eficiencia de las estaciones de bombeo Mina Frisco.	---	112,155.00	19,045.00	215,223.12	1.94	---	---
	8	Paro programado de ventiladores gigantes.	176	24,553.00	23,744.00	190,610.52	1.72	1,152.00	0.006
	9	Sustitución de lámparas de V.M. por lámparas de V.S. ahorradoras de energía.	40.44	13,249.63	3,294.70	39,661.00	0.36	31,100.00	0.78
	10	Corrección del F.P. en mina Clarines (*)	---	---	---	23,868.00	0.22	19,816.30	0.83
	11	Cambio de la succión del aire del comp. de manteo a un lugar más fresco mina Frisco T. Nte.	5.9	1,254.00	---	3,600.00	0.03	2,100.00	0.58
MEDIANO	12	Indep. eléctrica de colonia y eliminación del subsidio.	---	---	---	97,125.36	0.88	191,200.00	1.97
LARGO	13	Administración de la demanda en bombeo, mina Clarines.	26	---	---	3,762.00	0.03	14,018.00	3.73
TOTAL			628.34	339,483.93	130,512.70	1,168,243.26	10.66	259,386.30	0.22

(\*) ahorro de 280 kVAR

TABLA RESUMEN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO

CLASIFICACION SEGUN PLAZO DE RETORNO DE INVERSION	No.	OPORTUNIDAD DE AHORRO	AHORROS DE ENERGIA MENSUAL			AHORRO EN COSTO ANUAL N° (M.N.)	% AHORRO FACT. BASICA TOTAL	INVERSION N° (M.N.)	AÑOS
			KW DEM	KWH BASE	KWH PICO				
INMEDIATO	1	Aumento de eficiencia en sistemas de bombeo en interior minas.	...	334,666.00	...	441,759.00	3.44	Nula	0.00
	2	Paro de bombeo en minas de horario pico.	1,056	...	...	387,975.12	3.02	Nula	0.00
	3	Reparación de las fugas de aire en los sistemas de aire comprimido.	...	164,860.00	26,523.00	252,079.56	1.96	Nula	0.00
	4	Cambio de tarifa H-S a la tarifa H-SL.	...	...	...	218,106.00	1.70	Nula	0.00
	5	Paro del departamento de trituración durante el período de pico.	418	...	...	196,069.72	1.52	Nula	0.00
	6	Sacar la succión de los compresores hacia lugares mas frescos.	...	6,496	965.00	9,762.48	0.08	Nula	0.00
CORTO	7	Paro de extractores gigantes en el tiempo en que no ocasionen problemas al personal de minas.	113	129,668.00 16,264.00	15,284.00 T-OM	250,462.10	1.95	3,993.60	0.020
	8	Cambio de alumbrado de V.M. de 400 W por V.S. de 25 W.	12	3,772.00	1,050.00	11,614.08	0.09	17,600.00	1.52
TOTAL (*) ahorro de 280 kVAR			1,599	655,726.00	43,802.00	1,767,828.06	13.76	21,593.60	0.012

**OPCION PARA LA  
ELECTRIFICACION  
DE PEQUENAS COMUNIDADES  
RURALES EN MEXICO**

**OPTION FOR RURAL  
ELECTRIFICATION IN MEXICO**

**GUTIERREZ VERA, JORGE ING.**  
Compañía de Luz y Fuerza  
del Centro, S.A., México

**RESUMEN**

Este trabajo sintetiza los resultados de un estudio llevado a cabo en comunidades del estado de Hidalgo, localizadas en lugares remotos y de difícil acceso. En el estudio se analizaron 19 diferentes opciones que son factibles técnica y comercialmente hablando para la electrificación de las mismas.

El comportamiento de estos sistemas fue evaluado con respecto a su capacidad para satisfacer 12 objetivos técnicos y 5 socioeconómicos, así como su impacto ambiental.

Un sistema "HIBRIDO" a base de celdas fotovoltaicas, generador a diesel o gasolina y generador eólico, creemos que es la opción recomendada para este tipo de comunidades.

**INTRODUCCION**

El objetivo principal de este estudio, fue el de encontrar la solución más idónea para la electrificación de estas comunidades, tomando en cuenta que en Hidalgo existen aproximadamente 1,500 y en todo el país cerca de 86,000 con menos de 1,000 habitantes que aún carecen de electricidad.

Lo pequeño de las comunidades así como su lejanía e inaccesibilidad las hacen elegibles para ser electrificadas en forma descentralizada, esto es, sin extender líneas de distribución para

conectarlas a redes existentes, ya que esto traería consigo una elevada inversión inicial y altos costos de operación y mantenimiento.

En México se han tenido experiencias de electrificar este tipo de comunidades con generadores acoplados a motores diesel, sin embargo, dichas experiencias han fracasado debido al elevado costo de operación y mantenimiento de dichos motores.

El suministro de energía eléctrica confiable y económico, es factor determinante en el desarrollo socioeconómico, comercial y agroindustrial de estas comunidades, toda vez que se pudieran alcanzar los siguientes objetivos:

- Con alumbrado se pueden ampliar las horas de trabajo, estudio, así como otras actividades nocturnas.
- Las oportunidades de educación se multiplican con el acceso a la televisión y radio.
- La seguridad social se incrementa al disponer de energía para refrigerar vacunas y medicamentos.
- Se elimina el aislamiento de las comunidades, debido a que con la electricidad se puede disponer de sistemas de radio comunicación.

**TABLA 1**

**TECNOLOGIAS REMOTAS  
ESTUDIADAS  
TECNOLOGIAS ANALIZADAS**

Generación distribuida con  
máquinas diesel

Generación centralizada con  
máquinas diesel

Sistemas fotovoltaicos  
distribuidos

Sistemas fotovoltaicos  
centralizados

Sistemas de conversión de  
energía eólica

Sistemas híbridos

Expansión de la red eléctrica

#### TECNOLOGIAS EXAMINADAS QUE NO SE CONSIDERAN VIABLES

Biomasa  
Dendotérmicas  
Rebombeo  
Geotérmica  
Hidroeléctricas  
Turbinas de gas

#### METODOLOGIA DEL ESTUDIO

De las 7 tecnologías analizadas consideradas como factibles, se determinó que debieran satisfacer 12 objetivos de diseño, 5 socioeconómicos, así como su impacto ambiental. Los objetivos de diseño son:

##### 1) ADECUADO PARA LOCALIDADES REMOTAS.

Sobre todo respecto a la logística para el suministro de combustible, instalación, operación, mantenimiento y reparación del equipo.

##### 2) SUMINISTRO CONFIABLE DE ENERGIA ELECTRICA.

La aceptación por parte de los usuarios depende del grado de semejanza que tenga el suministro de energía eléctrica proveniente de un sistema híbrido con respecto del sistema tradicional, (extensión de la red), así como de su capacidad para soportar sobrecargas y fallas.

##### 3) COSTO DE LA ENERGIA.

Es necesario un análisis detallado de los costos de operación y mantenimiento, así como de la inversión inicial de las alternativas de suministro seleccionadas sobre una base homogénea, la cual consideramos debe ser el de ciclo de vida de las instalaciones.

##### 4) ALTA CONFIABILIDAD.

El aspecto más importante en los sistemas de potencia, es la evaluación de la calidad y continuidad del servicio, por lo que se deberá prestar especial atención a los riesgos técnicos del sistema y sus componentes, la frecuencia de las fallas, la duración de las mismas, así como los efectos que tengan en la población.

##### 5) OPERACION Y MANTENIMIENTO.

Se debe seleccionar a 2 ó 3 personas idóneas residentes en la población para llevar a cabo las funciones más sencillas de operación y mantenimiento, tales como cambio de filtros y reposición de combustible en la máquina diesel, revisión del electrolito en la batería, limpieza de las celdas fotovoltaicas, lubricación cojinetes del aerogenerador, etc. Lo anterior, previa capacitación correspondiente.

##### 6) OPERACION DESATENDIDA.

El sistema debe ser totalmente automático e independiente de la intervención permanente de un operador.

##### 7) ACEPTACION LOCAL.

El sistema debe llenar las expectativas de los usuarios y lo deberán considerar de su propiedad. Es por ello que se les debe solicitar a los propios usuarios su participación activa en tareas sencillas, tales como la elaboración de la cimentación del equipo, la construcción de la red de distribución y su

participación en el montaje de los componentes del propio equipo, con ello además de lograr que se sientan dueños de la instalación, se les podrá responsabilizar de la operación de la misma.

### **8) SEGURIDAD.**

La seguridad de los residentes de la comunidad y del personal seleccionado y entrenado para operación y mantenimiento es de vital importancia en este tipo de sistemas instalados en comunidades remotas.

### **9) TIEMPO DE SERVICIO.**

El sistema deberá ser diseñado, construido, operado y mantenido para que dure el mayor tiempo posible. Este objetivo es importante para la economía de la población.

### **10) FLEXIBILIDAD Y CAPACIDAD DE EXPANSION.**

La relación entre un sistema eléctrico remoto y la comunidad a la que sirve es en extremo dinámica, toda vez que afectará en forma importante el desarrollo socioeconómico de la población. Es por ello que el sistema deberá diseñarse para que se pueda ampliar en lo que a capacidad se refiere debido a crecimiento horizontal y vertical de la carga sin perder de vista el factor "costo beneficio".

### **11) CONDICIONES AMBIENTALES SEVERAS.**

El diseño del equipo debe ser tal que opere en condiciones óptimas en ambientes que incluyan frío, calor, polvo, suciedad, lluvia, granizo, vientos, descargas atmosféricas y también la altura sobre el nivel del mar a la que se instale.

### **12) REPLICABILIDAD.**

El diseño del sistema deberá ser susceptible de reproducirse a gran escala

en otras poblaciones como la que nos ocupa sobre la base de una relación positiva de costo beneficio.

## **POBLACION TIPICA**

Para el desarrollo de este trabajo, se investigaron las características de 12 poblaciones, de las cuales se visitaron 8. Con la información obtenida se definieron las características de una población típica y se determinó en función de las casas y tamaño de las familias, las cantidades posibles de energía requerida por día. Para el presente estudio se determinó que esta cifra es del orden de 45 Kwh/día. En la Figura 1 se muestra la forma de uso de la energía requerida por la población.

Es muy importante destacar que en lo que respecta al uso de la energía, se deberán imponer a los usuarios las siguientes restricciones:

- No se deberá cocinar con energía eléctrica.
- El alumbrado deberá ser a base de luminarias del tipo de alta eficiencia (no se deben usar incandescentes).
- Los refrigeradores se deberán restringir a la clínica, salón de usos múltiples y los comercios existentes en la población, (en este caso 3).

Si bien la cifra de 45 Kwh/día es baja, es realista con respecto a la cantidad inicial requerida para la gran mayoría de las comunidades semejantes a la que nos ocupa. Sin embargo, si el impacto socioeconómico de la electricidad en la población es tal que se requieran cantidades de energía superiores a las de diseño del sistema, éste, como ya se mencionó, deberá ser susceptible de expandirse.

En la Figura 2 se muestra el perfil esperado de la curva horaria de la carga en la población objeto del estudio. En resumen, de las 7 tecnologías remotas

estudiadas, éstas se pueden agrupar como distribuidas o centralizadas; en éstas últimas para el análisis económico se consideró que requerirían se incluyera el costo de la red de distribución.

### 1) SISTEMA HIBRIDO

Un sistema modular de celdas fotovoltaicas, generadores diesel y eólico (éste último opcional en función de contar con velocidad y dirección de viento adecuadas), fue considerado como opción viable, el sistema incluye un arreglo fotovoltaico de 4.3 Kwp que genera el 32.2% de la energía requerida, una estación de baterías de 2.3 días, un inversor de 7.5 Kw con capacidad de sobrecargas de corta duración de 300% y un grupo motor generador a diesel de 17.3 Kw. La estación de baterías es recargada automáticamente a través del controlador electrónico por las celdas fotovoltaicas y por el generador diesel. El aerogenerador se puede agregar a este tipo de sistemas cuando los recursos eólicos lo justifiquen.

Costo del ciclo de vida considerado en 25 años. \$275,560 dólares.

Costo de la energía generada en el ciclo de vida \$0.62/Kwh

#### VENTAJAS

- Costo más bajo durante el ciclo de vida de las tecnologías analizadas.
- El sistema híbrido ofrece un mayor grado de confiabilidad durante su vida útil.
- Disponibilidad de la energía independientemente de las condiciones del sitio seleccionado.
- Alta eficiencia de la energía (calidad del suministro).
- Bajo mantenimiento.

- No se requiere personal altamente calificado para las labores rutinarias de operación y mantenimiento.

- Reducción de fallas hasta en un 75%, debido a la confiabilidad del sistema y a su reserva de capacidad.

- El sistema híbrido puede proporcionar de 30 a 60% de capacidad adicional a la nominal con efectos adversos despreciables.

- Debido a la flexibilidad del sistema, éste puede ser mejorado en aplicaciones futuras.

#### DESVENTAJAS

- Mayor nivel de complejidad y en consecuencia riesgos de errores de diseño.

- Inversión inicial mayor que en el caso de sistemas diesel.

- Requiere de más sofisticados modelos de comportamiento (interfase-usuario-equipo)

#### RESUMEN

Se deberá hacer énfasis en el diseño de los sistemas híbridos tomando en cuenta sus limitaciones. La configuración base deberá explotar al máximo los recursos renovables (sol y viento) y deberá eliminar lo impredecible de su disponibilidad con el generador diesel. Este sistema reduce los altos costos de la generación a diesel hasta en un 74%.

Si este tipo de sistemas se desarrollan satisfactoriamente y se logran abatir los costos de la inversión inicial, lo cual es factible, si se fabrican masivamente, en el largo plazo pueden ser un complemento de la energía suministrada en forma tradicional a los grandes núcleos de población, con lo cual se optimizará el uso de recursos no renovables como el petróleo y las compañías eléctricas podrán diferir y/o disminuir inversiones.

## 2) EXTENSION DE LA RED

Para el caso que nos ocupa es necesario extender 10 km de línea de distribución de 23 Kv aérea hasta la población seleccionada, construir una red de distribución sobre la base de considerar una carga de 500 VA por casa. Los costos de mano de obra para la construcción de la línea de alimentación y la red de distribución en este tipo de comunidades aisladas y de difícil acceso se incrementan hasta en 3 y 4 veces con respecto de las ampliaciones normales.

Costo del ciclo de vida considerado en 25 años \$1,339,000 dólares.

Costo de la energía en el ciclo de vida \$3.26 Kwh

### VENTAJAS

- Ofrece la ventaja del suministro en las grandes ciudades.
- Tiene aceptación de la población por su seguridad y no tener efectos ambientales adversos.
- Facilidad de expansión de la red por crecimiento de la carga.
- Calidad del suministro y capacidad de sobre carga.

### DESVENTAJAS

- Costos elevados de instalación y mantenimiento.
- Agrega cargas adicionales a la capacidad existente.
- Inaccesible para muchas comunidades rurales por su costo. De hecho, una gran cantidad de las 86,000 comunidades que aún carecen de energía en México, nunca la podrán tener por este sistema.

### RESUMEN

La gran mayoría de los programas de electrificación rural en todo el mundo, se

basan en la extensión de las redes existentes, sin embargo, las comunidades accesibles ya están electrificadas y el costo de electrificación de las comunidades que aún carecen de servicio aumenta permanentemente en forma significativa sobre la base unitaria, esto es costo por usuario conectado a la red. La mayoría de las comunidades sin electrificar en el Estado de Hidalgo, están localizadas en áreas montañosas y remotas y muchas de ellas no cuentan con caminos de acceso, por lo que el costo de extensión de la red, cuando esta opción es factible técnicamente es muy alto. Ver la Figura No. 3 para los 10 km del ejemplo de la población objeto de este estudio en el Estado de Hidalgo.

El costo del ciclo de vida de la energía para estas comunidades sobre la base de extender la red, es varias veces superior al de otras alternativas remotas.

## 3) GENERACION DIESEL CENTRALIZADA

- Se consideraron dos máquinas diesel de 17.3 Kw para operar en forma alternada, se consideró también equipo de control para mantener las máquinas a un mínimo de 40% de la carga, así como para limitar los efectos de cargas pico.

- Combustible usado por un año 24,000 litros.

- Costo de ciclo de vida considerado en 25 años \$534,667 dólares. Costo de la energía generada en el ciclo de vida \$1.30/Kwh.

### VENTAJAS

- Inversión inicial baja.
- Tecnología conocida universalmente.
- Disponibilidad en el mercado de máquinas, refacciones y personal calificado.
- Adecuada para cargas reactivas.

- Disponibilidad de la energía independientemente de condiciones climatológicas.

### DESVENTAJAS

- La experiencia ha demostrado que la falta de mantenimiento adecuado y oportuno origina deficiente continuidad y calidad de servicio.
- El equipo se debe dimensionar para cubrir la demanda máxima con la cual opera a menos del 50% de su capacidad nominal originando problemas serios de carbonización.
- Alto grado de dificultad en el mantenimiento del equipo y suministro de combustible.
- El precio del combustible es impredecible.
- Problemas ambientales de ruido, emisión de gases, manejo de combustible y aceite lubricante.
- Flexibilidad limitada.
- Una segunda contingencia significa la pérdida total del servicio.

### 4) SISTEMA FOTOVOLTAICO DISTRIBUIDO

- Este sistema se dimensionó para proporcionar 1.56 Kwh por casa y por día. Esta cantidad no puede ser rebasada por los usuarios. Este tipo de sistemas será ligeramente deficitario 3 meses del año y los 9 restantes tendrá una disponibilidad en exceso del 14%. El sistema incluye un arreglo fotovoltaico de 720 Wp por casa, un sistema de control priorizado para desconexión de cargas, una batería de 315 AH, 48 VDC de 5.4 días de capacidad de reserva y un inversor de alta confiabilidad de 1 Kva.
- Costo del ciclo de vida considerado en 25 años \$525,464 dólares.

- Costo de la energía en el ciclo de vida \$1.28 Kwh.

### VENTAJAS

- Bajo mantenimiento.
- Totalmente automático, control muy simple.
- Energía generada en la carga, no hay problemas de distribución.
- Será responsabilidad de cada familia ajustarse a la capacidad del equipo.
- Sin problemas ambientales, sin ruido, todo el equipo es electrónico (circuitos de estado sólido).
- Suministro de combustible (radiación solar), local y prácticamente ininterrumpible.
- Cualquier falla afecta solo una casa.
- Por ser modular es fácilmente expandible.

### DESVENTAJAS

- El acceso total a la radiación solar en algunos casos no será factible, por lo que los arreglos fotovoltaicos se tendrán que instalar a distancia, lo cual traerá problemas de distribución.
- Necesidad en cada caso de contar con estructura que soporte carga de viento.
- Inversión inicial más alta que cualquier otra alternativa viable.
- No hay capacidad de sobre carga.
- Sistema totalmente dependiente de condiciones atmosféricas y niveles de radiación solar.
- Cada nueva casa requerirá de un sistema adicional.

- No se puede aprovechar el concepto de "demanda diversificada" como en el caso de sistemas centralizados.

- El desecho de baterías puede originar problemas de contaminación de ácido y plomo.

### 5) SISTEMA FOTOVOLTAICO CENTRALIZADO

- Este sistema cuenta con un arreglo fotovoltaico de 21 Kwp, 2900 AH (5 días de reserva), batería de 120 VCD, equipo de control y un inversor de alta eficiencia de 7.5 Kw.

- Costo de ciclo de vida considerado en 25 años \$364,113 dólares.

- Costo de la energía en el ciclo de vida \$0.89/Kwh

- La economía de sistemas fotovoltaicos centralizados comparada con los distribuidos, se basa en que el costo de la red de distribución se compensa con el hecho de que solo se requerirá de un equipo de control, y será más fácil instalar y manejar un arreglo fotovoltaico centralizado y banco de baterías.

#### VENTAJAS

- Las mismas de los sistemas fotovoltaicos distribuidos, con excepción de las relacionadas a la individualidad.

#### DESVENTAJAS

- Inversión inicial alta.

- Limitada capacidad de sobre carga. La comunidad deberá aprender a vivir con las cantidades de energía asignadas por familia y por día.

- Si se excede la capacidad de diseño el servicio se interrumpe.

- La capacidad solamente se puede ampliar agregando módulos fotovoltaicos y baterías.

- Dependencia total del clima y niveles de radiación solar.

- Requiere superficies considerables (320 m<sup>2</sup> para este arreglo).

### 6) GENERADORES EOLICOS

- Para dimensionar el sistema requerido para la población objeto del presente estudio, se usaron normas internacionales existentes sobre el particular, desarrolladas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y de acuerdo con estas normas se requieren 26 aerogeneradores de 5 Kw c/u con promedio de generación diaria de 200 Kwh. A pesar de lo elevado de esta cifra, la variabilidad del recurso eólico pudiera significar (en la zona que nos ocupa) incertidumbre sobre el comportamiento del sistema. El modelo base para esta alternativa incluye una batería con capacidad de 5 días, un cargador de baterías y un inversor de 7.5 Kw.

- Costo del ciclo de vida considerado en 25 años \$613,562 dólares.

- Costo de la energía en el ciclo de vida \$1.49/Kwh.

#### VENTAJAS

- Si la disponibilidad de viento en velocidad y dirección es buena, estos sistemas pueden proporcionar energía a bajo costo.

- Si se cumple la condición anterior, pueden producir cantidades significativas de energía.

- No contaminan.

- Producen energía sin procesos térmicos.

- Depende solo del viento.

- No existen costos de combustible ni de su transporte y almacenamiento.

- Con un diseño apropiado y buen mantenimiento se tiene buena confiabilidad.

### DESVENTAJAS

- La irregularidad del recurso eólico en Hidalgo significa que la confiabilidad del sistema sería pobre y requeriría de un respaldo en generación para garantizar la continuidad del servicio.

- En virtud de carecer de datos estadísticos confiables sobre el recurso eólico en el sitio determinado y de que el desarrollo del comportamiento del modelo actual no está totalmente desarrollado, la operación de este tipo de sistemas es impredecible.

- Los aerogeneradores se deberán espaciar por lo menos 10 veces el diámetro de las aspas por lo que se requerirán extensiones de terreno considerables (esto algunos autores lo consideran como contaminación).

### 7) GENERADORES DIESEL DISTRIBUIDOS

Para esta alternativa se pensó en 4 generadores diesel de 4.5 Kw cada uno para alimentar grupos de 4 ó 5 casas. Las cargas comunitarias (clínica, iglesia, centro comunitario y comercios) se alimentarán con 2 generadores adicionales de la misma capacidad. Equipo de administración de la carga se requerirá para limitar la capacidad de sobre carga, así como automatismos para mantener las unidades a 40% de carga por lo menos.

- Consumo anual de combustible 51,930 litros.

- Costo del ciclo de vida considerado en 25 años \$1,356,305 dólares.

- Costo de la energía generada durante el ciclo de vida \$3.30/Kwh.

### VENTAJAS

- Costo inicial más bajo de las alternativas consideradas.

- Disponibilidad en el mercado de máquinas, refacciones y personal capacitado.

- La falla de un equipo afecta a un grupo limitado de casas.

- Generación de corriente alterna que elimina el uso de inversores.

### DESVENTAJAS

- Costos anuales más elevados.

- Pobre aceptación por parte de los usuarios, debido al ruido constante y a la contaminación.

- La operación obligada a bajos factores de carga origina mayores costos de combustible, acortamiento de la vida útil del equipo y necesidad de mantenimientos más frecuentes.

- La reposición de combustible es más frecuente.

- La diversidad de carga no puede ser aprovechada para balancear picos por alimentar cada equipo un número reducido de usuarios.

### CONCLUSION

Para la comunidad que nos ocupa, cuyo nombre es María Magdalena en el Estado Hidalgo, es la del sistema híbrido, mismo que ya se encuentra en operación desde el 25 de enero de 1991.

**COMPORTAMIENTO DEL  
SISTEMA HIBRIDO  
DE MARIA MAGDALENA  
DE FEBRERO A SEPTIEMBRE DE  
1991**

MES	SOLAR Prog. Real/Prog.	EOLICO Real/Prog.	DIESEL Real		
Febrero	29	32	15	37	56
Marzo	34	31	17	34	49
Abril	37	57	17	33	46
Mayo	36	45	11	15	53
Junio	30	25	16	29	54
Julio	31	46	19	12	50
Agosto	29	18	23	44	48
Sept.	25	11	15	36	60
Oct.	32	21	14	17	54
Nov.	36	29	10	15	54
Dic.	36	22	5	12	59
Ene/92	32		6		62

Como información adicional, vale la pena destacar que desde Enero 25 de 1991, este sistema ha estado trabajando sin interrupción alguna.

**INVERSION INICIAL Y DEL  
COSTO DE LA ENERGIA**

El costo del proyecto piloto de María Magdalena no refleja el precio real para un proyecto similar, en virtud de que en éste se incluyó la factibilidad y el estudio de campo para encontrar la comunidad idónea en la que se debería instalar este sistema. Actualmente, la inversión inicial de un sistema similar al de María Magdalena es de aproximadamente 150 mil dólares.

En cuanto al esquema financiero, pensamos que podríamos usar el mismo que se utiliza en programas de electrificación rural basados en extensión de la red de distribución. En este esquema es aproximado. El Gobierno Estatal aporta el 66% del costo de la obra y el 34% remanente es aportado por los usuarios.

El precio de la energía suministrada a los usuarios de María Magdalena de febrero a julio de 1991, es de 2.6 centavos de dólar/Kwh y este costo de operación ha sido pagando los usuarios.

**FACTORES QUE NOS LLEVARON  
A DESARROLLAR EL PROYECTO  
PILOTO DE MARIA MAGDALENA**

Como mencioné anteriormente, en México existen más de 86 mil comunidades carentes del servicio de energía eléctrica y dado lo pequeño y la lejanía de estas comunidades, el costo inicial para dotarlas de energía eléctrica extendiendo la red de distribución es muy alto, así como su operación y el mantenimiento.

Aunado a esto, la estructura tarifaria en México está altamente subsidiada para usuarios que consumen menos de 25 Kwh por mes, como son la mayoría. En virtud de esto, para la empresa pública suministradora de energía eléctrica, para este tipo de comunidades les sería más conveniente suministrar la energía gratis, en vez de pagar costos por lecturas, facturación, cobranza, etc.

A finales de agosto de 1991, María Magdalena cuenta con 39 usuarios y el promedio de consumo de electricidad per capita es de 13 Kwh/mes. Con la tarifa actual, cada usuario pagaría a la Compañía 1.36 dólares por mes. Por otro lado, el costo para suministrar electricidad a usuarios en estas comunidades rurales remotas sobre la base de 13 Kwh por mes, a la compañía le resultaría de aproximadamente 28 dólares. El concepto de costo evitado fue la razón que nos llevó a desarrollar el proyecto piloto de María Magdalena.

Estamos conscientes de que para el buen funcionamiento del sistema híbrido de María Magdalena y otros similares a éste, tendremos que capacitar a algunos de los habitantes de la comunidad a fin de que se hagan cargo de las rutinas más sencillas de mantenimiento, como son

recargado de combustible, cambiar el aceite, limpiar los módulos de las celdas fotovoltaicas y conexiones eléctricas, y verificar el líquido de la batería, pero lo más importante es crear entre los usuarios el sentido de propiedad de este equipo y que aprendan a vivir con el presupuesto de electricidad asignado.

131  
Cambios en el Uso de la Energía Residencial  
en Nueve Países de la OCDE y sus posibles  
efectos en México

Lee Schipper  
Claudia Sheinbaum  
Lawrence Berkeley Laboratory

*En este trabajo se analizan los cambios en el uso de la energía residencial en nueve países de la Organización Para la Cooperación y el Desarrollo Económico entre 1973 y 1990. Se presenta un análisis por usos finales y se estudian los cambios en los periodos 1973-1979, 1979-1985 y 1985-1990. Se discute la influencia de los programas de ahorro y conservación así como de los cambios en el precio de la energía. Se describe como en el último periodo la tasa de decremento de la intensidad energética ha disminuido debido al bajo precio de la energía. Finalmente se discuten los posibles efectos de esta experiencia en los países del Tercer Mundo, en especial en México.*

**1. Introducción y Metodología**

De las diversas posibilidades de enfoque en el análisis del uso residencial de la energía, el que se utiliza en este trabajo es el es conocido como un acercamiento por usos finales (Goldemberg et al) y/o "de abajo hacia arriba" ("Bottom-up" approach) (Schipper et al 1985). El principio en el que se basa esta metodología es la explicación de la demanda de energía a partir de las necesidades de su uso y no de la oferta agregada de la misma. Es decir, el consumo de energía del sector residencial se estudia a partir de las necesidades energéticas o usos finales, como son el calentamiento del espacio interior o la calefacción, la cocción de alimentos, etc. y no como un número agregado.

La ventaja de este método es que permite examinar con más claridad las respuestas del consumo debidas a gran variedad de causas, entre las que se encuentran las políticas de conservación y uso eficiente, la introducción de nuevas tecnologías, los cambios en el precio de la energía e inclusive las características culturales y estilos de vida.

Siguiendo este método, el consumo de energía "E" total para un sector está dado por la suma de la sub-demanda de energía por usos finales "i", es decir:

$$E = \sum E_i$$

y ésta a su vez está dada por:

$$E_i = P \sum I_j * S_j$$

En donde  $I_j$  es la intensidad energética<sup>1</sup> o el consumo unitario de energía de la fuente de energía  $j$  ( es decir el promedio del consumo de energía por persona correspondiente al uso final y al tipo de fuente) y  $S_j$  (saturación) es el porcentaje de personas o viviendas que utilizan la fuente de energía  $j$  para cubrir el uso final  $i$  y  $P$  es la población.

Para poder construir el consumo agregado de energía final residencial a partir de los usos y energías finales, se requieren obtener tres tipos de datos: (a) los de estructura, que se refieren a la "S" de la ecuación, que incluyen la población, el número de hogares, las características de los hogares, el porcentaje de casas que utilizan determinado energético para cubrir un uso final y la posesión de tecnología doméstica, (b) consumo unitario para uno o diferentes usos finales por fuente de energía  $I_j$  y (c) consumo final de energía para el sector residencial<sup>2</sup>.

Para efecto de este trabajo, los usos finales del sector residencial<sup>3</sup> que se analizan

<sup>1</sup>A los indicadores como el uso de la energía per capita, o uso de energía para calefacción por unidad de superficie de la vivienda se denominan *intensidades energéticas*. En general, la eficiencia energética de un uso final es el inverso de la intensidad energética del mismo uso.

<sup>2</sup>Es importante señalar que para cada uno de los países, la forma de la encuesta, la muestra representativa y la presentación de los resultados es distinta<sup>2</sup>. Por esta razón se busca ordenar los datos originales y calcular resultados de la manera más homogénea posible con el fin de reducir las incertidumbres en la comparación entre los países.

<sup>3</sup>De acuerdo con la división que establece el Grupo de estudios Internacionales del Lawrence Berkeley Laboratory. Ver por ejemplo Ref.

son: calefacción y uso de energía en aparatos electrodomésticos como refrigeración, aire acondicionado, lavadoras y secadoras (no se analizan calentamiento de agua ni cocción de alimentos).

Así mismo, el consumo de energía es contabilizado de dos maneras distintas: (a) energía final, entregada, o vendida (delivered energy) que corresponde a la energía que recibe el usuario, excluyendo la conversión de la energía primaria a electricidad. Esta es la medida de lo que el consumidor ve en su recibo más la energía disponible de la recolección de madera y (b) la energía neta que es la energía final menos las pérdidas por combustión<sup>4</sup>.

En el trabajo se estudian nueve países de la OCDE que son agregados en cuatro regiones: Europa-4 (Francia, Alemania occidental, Italia y Gran Bretaña), Escandinavia-3 (Suecia, Dinamarca y Noruega), Japón y Estados Unidos.

En la primera parte del trabajo se describen los factores que afectan el consumo de energía residencial. Posteriormente se analizan los cambios del uso de la energía residencial en los países de la OCDE de manera agregada y por usos finales. Finalmente se mencionan las políticas de conservación de energía, sus perspectivas y posibles efectos en otros países.

<sup>4</sup> Las pérdidas por combustión son 66% en el caso de derivados del petróleo y gas, 55% en el caso de carbón y leña, a excepción de Estados Unidos donde esta última se considera del 34%. El Grupo de Estudios Internacionales del LBL, da el nombre de energía útil (useful energy) a lo que aquí se denomina energía neta. Esta diferenciación se establece debido a que la energía útil debe ser entendida como las pérdidas por generación, distribución y forma de uso de la energía final (comportamiento) dentro del hogar. Esto implica contabilizar la eficiencia de los aparatos, aislamiento del sistema de distribución, uso de los mismos, temperaturas interiores o del agua, las cuales han variado en los últimos veinte años. El concepto de energía neta da cuenta de la importancia del incremento o disminución de la electricidad y el calor distrital como fuente de suministro de energía final para el hogar en los distintos usos finales.

## 2. Factores que afectan el consumo de energía residencial.

### 2.1 Ingreso

Las diferencias en el ingreso explican una parte importante de la heterogeneidad en el nivel y los patrones del consumo de energía en el sector residencial. El incremento en el ingreso permite a una familia la adquisición de viviendas más grandes, mejores niveles de confort o mayor número de aparatos electrodomésticos, lo cual influirá en mayor consumo de energía.

En este estudio se analiza el cambio del gasto para consumo privado per capita como aproximación del ingreso<sup>5</sup>.

Entre 1973 y 1990, el gasto para consumo privado (GCP) creció casi 50% en los cuatro países europeos (Europa-4: Francia, Alemania Occidental, Italia y Gran Bretaña) y en Japón, 28% en los tres países escandinavos (Escan-3: Suecia, Dinamarca y Noruega) y 25% en Estados Unidos. Dividiéndolo por períodos, la Figura 1 muestra como Europa-4 y Escandinavia-3 tuvieron la mayor tasa de crecimiento anual entre 1979 y 1985, mientras que Japón y Estados Unidos la registraron en el último período que va de 1985 a 1990. El incremento en el uso de la energía en el último período puede ser en parte explicado por el aumento en el GCP.

### 2.2 Precio

En las dos últimas décadas, los países de la OCDE fueron testigos de tres grandes cambios en el precio de la energía, estimulados por los cambios en el precio del petróleo. Entre 1973 y 1981, el precio del petróleo para el sector residencial creció en más de un factor de tres<sup>6</sup> (AIE 1975, 1980, 1992), (FMI 1975, 1980, 1992). Después de 1981 el precio del petróleo decreció en los Estados Unidos y en Japón, mientras que en Europa y Escandinavia se mantuvo alto debido a impuestos. A partir de

<sup>5</sup> El Gasto para Consumo Privado es igual al ingreso más los ahorros.

<sup>6</sup> En el análisis del precio del petróleo, el gas y la electricidad para cada país, se convierten los precios corrientes en la moneda de cada país a precios reales de 1985. Para convertirlo a dólares se utiliza el índice de 1985 de la Paridad en el Poder de Compra (Purchasing Power Parity) entre las monedas locales y el dólar de los Estados Unidos.

1985-86 éste decreció en todos los países. Solamente Italia enfrentó un aumento en el precio de esta fuente fósil, hasta llegar a tener un valor real más alto que el de 1981.

Los precios en Europa occidental son diferentes según el país, debido principalmente a diferencias en las políticas fiscales. En el caso de Italia, Suecia y Dinamarca por ejemplo, a partir de finales de los años ochenta y principios de los noventa, nuevos impuestos a los energéticos provocaron aumento en los precios. A lo largo del periodo 1973-1991 puede decirse que en general los precios más bajos fueron los de Estados Unidos, con excepción de la electricidad de Noruega y Suecia y los precios más altos los de Japón.

La Figura 2 muestra el cambio en el precio de la energía en el sector residencial, tomando el promedio del precio de cada energético pesado por su uso en cada año (para la electricidad, el gas, el petróleo y el carbón). El decremento en 1986 es claro comparado con el aumento de los periodos anteriores aunque a partir de 1988 se puede observar un nuevo incremento en Suecia e Italia y de menor importancia en Noruega y Alemania occidental.

Un factor importante en el incremento del precio real entre 1973 y 1990 es el aumento en la contribución de la electricidad al consumo total, ya que la electricidad es la fuente más cara por unidad de energía.

### 2.3 Estructurales

Los factores estructurales tienen un efecto de suma importancia en el análisis de las tendencias del uso de la energía, porque muchas veces opacan o enmascaran los cambios en las intensidades energéticas. Los cambios estructurales ocurren a través del incremento en equipo doméstico o en el aumento en el tamaño, o capacidad de dicho equipo. La evolución de diversos factores estructurales influyó de manera decisiva la tendencia del consumo de energía residencial en los países de la OCDE.

Los efectos estructurales más importantes en el uso de la energía en los países de la OCDE son: disminución en el número de habitantes por vivienda, aumento en la superficie de las viviendas, aumento en la saturación de la calefacción central, disminución del tiempo de estancia en el hogar y aumento en la saturación de aparatos electrodomésticos.

### 2.4 De intensidad

La intensidad energética medida como la razón de energía consumida por servicio proporcionado está relacionada directamente con el inverso de la eficiencia energética. Las intensidades energéticas están influenciadas por el precio de la energía y por políticas de eficiencia y conservación. Existen metodologías que permiten aislar los cambios en la tendencia del consumo de energía en estructurales y de intensidad (Schipper, Meyers 1992), (Sheinbaum, Schipper 1993), (Howarth, Schipper 1991).

### 3. Cambios agregados del consumo de energía en los países de la OCDE

La tabla 1 muestra la variación del uso de la energía final, total y per capita para los nueve países de la OCDE en el periodo 1972-73-1990. Como se observa, la energía final total para el sector decreció en Estados Unidos, Gran Bretaña, Suecia y Dinamarca, mientras que el uso de la energía final per capita disminuyó en estos países, además de Francia.

Visto por regiones, el uso de la energía final se incrementó anualmente en 0.31% en Europa-4 y 3.3% en Japón. Por el contrario, ésta disminuyó un promedio anual de 0.25% en Estados Unidos y 0.29% en Escandinavia-3.

Durante este periodo se puede observar una importante disminución de la importancia relativa de los derivados del petróleo y el aumento de la energía eléctrica. La variación del porcentaje que los derivados del petróleo tenían en la energía final decreció de 28 a 14.7% en Estados Unidos, de 42.3 a 34.9% en Japón, de 61.3 a 40.6% en Europa-4 y de 65.3 a 24.3% en Escandinavia-3.

Por el contrario, la importancia relativa de la electricidad se incrementó en 12.9 puntos porcentuales en Estados Unidos, 10.7 en Japón, 4.5 en Europa-4 y 24.5 en Escandinavia-3. El único país donde disminuyó la importancia relativa de la electricidad debido al importante incremento del gas natural fue Gran Bretaña.

Los indicadores generales del uso de la energía residencial son importantes en el análisis de las tendencias generales del consumo energético del sector, sin embargo no explican el porqué de los cambios en cada país y la diferencia entre éstos. Por esta razón y en la búsqueda de explicaciones que ayuden a

entender éstas tendencias, en el siguiente inciso se describirán los cambios por usos finales.

#### 4. Usos finales

##### 4.1 Calefacción

Los requerimientos energéticos para calefacción están influenciados principalmente por el mejoramiento en el aislamiento de las paredes y techos de las viviendas, por el uso de la energía solar pasiva (orientación de las viviendas), la eficiencia de la tecnología para calefacción (ya sea central o por cuarto) y la variación en las temperaturas interiores.

La Figura 3 muestra el uso de la energía por usos finales para las cuatro regiones suponiendo el clima histórico de Europa (2700 días grado). Como puede observarse, el uso final que más energía consume es la calefacción, representando alrededor del 60% del uso de la energía final para todos los países excepto para el Japón. Sin embargo su importancia relativa para cada país ha disminuido debido al aumento relativo de otros usos y su propio decremento.

Una medida de que permite evaluar los cambios en este uso final es la intensidad energética medida como el uso de la energía neta para calefacción por día grado y metro cuadrado por vivienda. Entre 1973 y 1990, esta intensidad disminuyó 24% en Europa-4, 32% en Escandinavia-3, 24% en Estados Unidos y aumentó 3% en Japón (Figura 4).

La importancia de medir la intensidad energética como la variación de la energía neta, es que se toma en cuenta el incremento del uso de la electricidad y el calor distrital. Como se explicó en la sección de metodología, el uso de los combustibles fósiles y la biomasa en las viviendas involucra pérdidas por combustión. La sustitución de gas, derivados del petróleo, carbón y leña por electricidad o calor distrital, hace el uso de la energía en el hogar (sin tomar en cuenta las pérdidas debidas a la generación y distribución) más eficiente debido a que evita dichas pérdidas (Schipper y Ketoff 1990).

La disminución de la intensidad en las tres regiones se debió al decremento en las temperaturas interiores, al mejoramiento en el aislamiento de las paredes y techos sobre todo de las casas que fueron construidas a partir de 1975 y al mejoramiento de la tecnología. Entre 1973 y 1979, es más factible suponer que la disminución en la intensidad se debió al decremento de las temperaturas interiores en las

viviendas ya que la influencia de las nuevas construcciones y la tecnología más eficiente era aun poca.

De hecho en Estados Unidos, por ejemplo, el porcentaje de casas que disminuyó la temperatura interior de 70 a 52 grados Fahrenheit del invierno de 1972 al invierno de 1974 fue de 85%, lo cual fue provocado por el aumento en los precios del petróleo (Meyers 1987). Sin embargo a partir de 1981 las temperaturas interiores volvieron a subir, debido fundamentalmente a la estabilización de los precios de los energéticos. En Dinamarca y Alemania occidental algunas encuestas revelan el mismo patrón de comportamiento, sin embargo la disminución en las temperaturas fue menor debido a que la temperatura original no era tan alta como en Estados Unidos. Entre 1973 y 1979 la intensidad energética para calefacción tuvo un decremento anual promedio de 1.4% en Europa-4, 3.67% en Escandinavia-3, 4.26% en Estados Unidos y de incremento de 2.9% en Japón.

Después de 1979, la influencia de las nuevas construcciones con normas de aislamiento comenzó a tener efecto en el valor promedio de la intensidad. Durante este periodo, la mayoría de los países de la OCDE introdujeron regulaciones térmicas para las nuevas construcciones. Algunos países como Suecia y Alemania occidental, establecieron inclusive regulaciones para las viviendas anteriores a 1973 (AIE 1991). Así mismo, el aumento en la eficiencia de los equipos para calefacción se incrementó. Por ejemplo, en Estados Unidos los calentadores ("hornos" para calefacción central) de gas aumentaron su eficiencia en un 20% entre 1975 y 1987 (DOE 1988). Es así que entre 1979 y 1985 la tasa de decremento anual de la intensidad fue de 2.88% en Europa-4, 3.8% en Escandinavia-3, 3.51% en Estados Unidos y 0.94 en Japón.

Después de 1985 la tasa anual promedio de cambio de la intensidad energética para calefacción disminuyó en todos los países debido fundamentalmente a la disminución en el precio de los hidrocarburos. De esta forma, entre 1985 y 1990 ésta tasa registró un decremento de 0.52% para Europa-4, 1.74% para Estados Unidos, 1.71 para Japón y creció 1.19 en Escandinavia-3.

Tomando en cuenta los tres periodos, la regulación en las nuevas construcciones tuvo mayor efecto en los Estados Unidos. Esto se

debió a que para 1987, alrededor del 25% de todas las viviendas se había construido después de 1975, mientras que en Europa solamente entre el 18 y el 20% (Schipper, Meyers 1992).

#### 4.2 Electrodomésticos

Este uso de la energía en el sector residencial es sin duda el de mayor crecimiento en los últimos 20 años para todos los países. Este incluye la preservación de alimentos (refrigeración y congelación), lavado y secado de ropa, lavado de trastes, aire acondicionado, entretenimiento (televisión, radio, etc.) y otros usos misceláneos.

Entre 1973 y 1990, el uso per capita de electricidad para electrodomésticos se incrementó 46% en Estados Unidos, 60.2% en Escandinavia-3, 107% en Europa-4 y 110.5% en Japón. El mayor crecimiento en el consumo para Europa-4 y Japón se debió al importante incremento en la saturación de los seis electrodomésticos más importantes (refrigeración, congelación, lavado de ropa, lavado de trastes, secado de ropa y aire acondicionado) mientras que para Escandinavia y Estados Unidos donde ya había una difusión muy grande de estos aparatos en 1973, otros electrodomésticos (que van desde hornos de microondas hasta bombas para albercas) adquirieron mayor importancia en el consumo de electricidad residencial (Mayer 1992).

Para este uso final, el cambio en la intensidad del consumo de electricidad puede ser analizado directamente a través de los datos del consumo unitario de energía (CUE) por electrodoméstico. El CUE se obtiene de encuestas realizadas en los diferentes países y está definido como el consumo promedio de energía de un electrodoméstico durante un año. El valor de este indicador depende de las características técnicas de los electrodomésticos nuevos y "viejos" (que están en uso), de la tasa de renovación de éstos y de las formas de uso de los mismos. Estimaciones del cambio del CUE se presentan en la Tabla 2 para algunos países.

En todos los casos, con excepción de Japón el CUE disminuyó. La razón más importante de la caída de este indicador se debió al aumento en la eficiencia de los nuevos aparatos. Sin embargo, como lo demuestran Schipper y Hawk (1991), el incremento en el volumen y la diversificación de las características de la mayoría de los electrodomésticos opacó los cambios en la

eficiencia. Este fenómeno es muy claro en el caso de Japón. En este país, por ejemplo, la eficiencia por litro en los nuevos refrigeradores disminuyó en un 75%, y sin embargo el CUE aumentó debido a que el volumen promedio de los refrigeradores creció casi el doble.

En los otros países este fenómeno también se presentó. En Estados Unidos, por ejemplo, la eficiencia por litro de los refrigeradores más populares disminuyó en un 50% entre 1972 y 1984 (Meyers 1987) y sin embargo la disminución en el consumo fue mucho menor. En Europa-4 esta situación también se presentó pero fue menos importante. En Escandinavia, al igual que en los Estados Unidos, éste efecto fue importante, pero no alcanzó los niveles de Japón debido a que en 1973 los refrigeradores tenían un volumen y una saturación mucho mayor que la de los japoneses.

En los televisores sucedió un fenómeno semejante. El aumento en el tamaño, así como la introducción masiva en el mercado de televisores de color presionó en el aumento del consumo de energía para estos aparatos, a pesar de que para cierto tamaño un televisor en 1984 era 75 veces más eficiente que en 1972 (Schipper, Hawk, 1991). En la actualidad, televisores de alta definición están penetrando en el mercado lo cual podrá presionar para que aumente el consumo de electricidad para este uso, sin embargo, importantes avances tecnológicos podrán hacer que este mejoramiento en la tecnología no represente un aumento en el consumo de energía (AIE 1991).

Un aparato eléctrico que prácticamente no es utilizado en Europa ni Escandinavia debido al clima, pero que es común en Estados Unidos y Japón y su adquisición ha ido en aumento es el aire acondicionado. La saturación de este dispositivo aumentó de 46% en 1973, a 63% en 1988 en Estados Unidos y de 16% a 34% en Japón para los mismos años. En este caso, el mejoramiento en la construcción de nuevas casas y al aumento en la eficiencia de dichos dispositivos, ha presionado en la disminución del CUE para este uso.

La caída del CUE no ocurrió en el mismo periodo para todos los países por diferentes razones. Sin embargo es interesante que entre 1985 y 1990 éste indicador cayó para todas las regiones y para los seis electrodomésticos más importantes con excepción de los refrigeradores en Europa-4. Así, la tasa promedio anual del CUE de los

refrigeradores (con congelador) disminuyó 1.76% en Escandinavia-3, 1.70% en Estados Unidos, 0.29 en Japón y aumentó 0.93% en Europa-4. Esto se debió a que esta última región la saturación de estos aparatos creció de 105% a 110%, mientras que en Estados Unidos y Japón se mantuvo constante a 114% y 117% respectivamente y en Escandinavia tan sólo creció de 105% a 106%.

Es importante señalar que un empuje a los adelantos tecnológicos y el aumento en la eficiencia de los electrodomésticos a finales de los años ochenta y que seguirá representando un importante impulso en el futuro son los estándares obligatorios en California en 1988 y en todos los Estados Unidos en 1990 y los acuerdos entre fabricantes y gobierno establecidos en Japón y Alemania. Estos acuerdos generaran aumento en la eficiencia no sólo en los países donde esto se acuerda, sino mundialmente debido a la alta internacionalización del mercado de estos bienes.

##### 5. Factores que determinan los cambios en la intensidad energética

Existen tres factores principales que determinan el aumento en la eficiencia del consumo de energía residencial: 1) los cambios tecnológicos de largo plazo, 2) los programas de conservación y eficiencia energética y 3) el precio de la energía.

En el primer caso, el *cambio tecnológico* ha promovido el uso más eficiente de la energía a través de equipo más eficiente o de mejoras en los materiales de construcción. Este cambio se da a través de la investigación, el desarrollo y en muchos casos la competencia entre diferentes compañías. En el caso del sector residencial, este fenómeno aparece en distintas formas: nuevos materiales de aislamiento para paredes y techos de las viviendas, como es el caso de los "gels de aerosol" que dan mejor aislamiento a menor grosor y por lo tanto permiten disminuir los costos de construcción, capas de vidrios con gases nobles (entre las capas) que reducen el reflejo y la transferencia de calor, lámparas compactas fluorescentes que reducen el consumo de energía en un 75% y tienen una vida entre ocho y diez veces más que los focos convencionales. Estos adelantos tecnológicos se produjeron como efecto de

programas de ahorro y el incremento en los precios de la energía. A pesar del actual bajo precio de los energéticos, los adelantos tecnológicos seguirán presionando a la disminución de la intensidad energética en la medida que los viejos aparatos y viviendas sean reemplazados por equipo más eficiente.

El segundo factor que influencia la tendencia "natural" del uso de la energía son los *programas de conservación y eficiencia energética*. Después del choque petrolero de 1973 la mayoría de los países de la OCDE establecieron estándares para el aislamiento de las nuevas construcciones y dieron facilidades de compra y préstamos para que esto se llevara a cabo. El resultado de estas reglamentaciones fue muy importante pues el consumo de energía para calefacción (y aire acondicionado en el caso de los Estados Unidos) se redujo en aquellas viviendas construidas después de 1975. Otros programas como los estándares para electrodomésticos en los Estados Unidos y los programas de "administración de la demanda" (demanda side management) son aun muy jóvenes para poder evaluar su impacto en el consumo, sin embargo su efecto se hará notorio en las décadas futuras.

El tercer factor es el *precio de la energía*. Los precios de la energía han tenido un profundo impacto en las intensidades energéticas del sector residencial, reduciendo el consumo en el periodo que va de 1973 a 1985 y disminuyendo esta tendencia después de 1985. La importante caída del consumo de energía para calefacción en 1974-75 y en 1979-81 fue claramente producto de los precios altos. De la misma manera, el freno en la disminución de la intensidad energética fue producto de la disminución en los precios.

Las perspectivas de posibles incrementos en el precio de la energía son mixtas. Por un lado y como se explica en Schipper, Meyers et al (1992), la escasez de recursos fósiles no parece tener importancia en las próximas dos décadas. Así mismo, la experiencia de la guerra del Golfo Pérsico sugiere que el mercado petrolero mundial ha aprendido a manejar interrupciones temporales en el suministro de este hidrocarburo sin efectos económicos mundiales mayores. La reforma de las compañías eléctricas en Estados Unidos y Europa puede generar nuevas formas de competencia que disminuyan, al menos en el corto plazo, los precios que los consumidores

pagan por esta forma de energía. De igual importancia en el bajo precio de la energía es la contribución del suministro de petróleo mundial en la modernización de la industria petrolera en Rusia.

De esta forma, hasta el periodo del 2010 es difícil imaginar un aumento importante en el precio de la energía, a menos que ocurra un desastre ambiental mayor al de Chernovyl o una guerra en el Medio Oriente de mayor duración y gravedad para el suministro de petróleo que la del Golfo Pérsico. Así entonces, los impuestos de carbón asociados al cambio climático global serán quizás la única fuente de incremento significativo en el precio de la energía para los usuarios residenciales y de otros sectores.

## 6. Conclusiones

El consumo de energía residencial en los países de la OCDE sufrió una importante transformación durante la década de 1970 y 1980. La intensidad energética para calefacción, calentamiento de agua y electrodomésticos disminuyó en la mayoría de los países estudiados, indicando mejoras significativas en la eficiencia.

El incremento en la superficie de los hogares y en la saturación de los electrodomésticos aumentó significativamente el consumo de energía residencial en algunos países y opacó el efecto de la disminución en la intensidad energética en otros.

La sustitución de petróleo por electricidad y calor distrital permitió el aumento en la eficiencia total y disminuyó de manera importante el consumo de los derivados del petróleo en el sector. Sin embargo, esta sustitución energética aumentó el uso de la electricidad.

Las políticas gubernamentales de reducción del uso del petróleo, aumento en la eficiencia y limitaciones al aumento en el uso de la electricidad fueron importantes en las dos décadas pasadas aun cuando los servicios energéticos aumentaron.

Los cambios en los precios de la energía, así como los programas gubernamentales fueron las causas de los cambios en el uso de la energía en el sector. Sin embargo, el colapso de los precios de la energía en 1986 ha producido una disminución en la tendencia al aumento en la eficiencia. Aun

cuando los estándares en las nuevas construcciones y electrodomésticos seguirán siendo un motor en el cambio, el bajo precio de la energía disminuirá la velocidad del cambio.

En la actualidad los precios de la energía no reflejan los cambios ambientales asociados a su uso. Si se ignoran los impuestos por carbón, el precio de la energía continuará siendo bajo en las próximas dos décadas y el efecto será el aumento en la tasa de cambio de las intensidades energéticas.

## 7. Efectos para los países en desarrollo, en particular México.

La influencia de lo que ocurre en los países de la OCDE hacia los países en desarrollo es enorme y cada vez mayor en lo que se refiere a las políticas de conservación y eficiencia energética. La enorme dificultad financiera de los países del Tercer Mundo para cubrir la creciente demanda de energía, así como los problemas ambientales asociados al uso y producción de la misma, hacen de los programas de conservación una herramienta de gran importancia y necesidad para estas naciones. Sin embargo es importante reconocer las diferencias sociales, culturales y de uso de la energía para poder aplicar políticas de ahorro de los países desarrollados a los países en desarrollo.

### 7.1 Diferencias en los usos finales y las fuentes de energía.

En este inciso se mencionan algunas diferencias en el consumo de energía residencial entre los países de la OCDE y los países en desarrollo, en particular México. No se discuten las causas ni se ahonda mas en la discusión<sup>7</sup>, pues sólo se pretende insistir en la importancia de reconocer las características del uso de la energía residencial en un país, antes de asumir políticas de ahorro utilizadas en otros lugares. En la mayoría de los países del Tercer Mundo el uso final de mayor importancia es la cocción. En México, por ejemplo, la cocción representa alrededor del 60% del consumo de energía final (Masera et al 1990) (lo que la calefacción representa en los países de la OCDE). De la misma manera, en los países en desarrollo la leña representa un porcentaje importante como

<sup>7</sup>Para mayor discusión sobre el tema ver Sheinbaum 1992.

fuente de energía final (cerca del 50% en el caso de México)(SEMIP 1991), mientras que para los países de la OCDE esta es una forma de energía secundaria.

Las políticas de conservación de energía que se diseñen en México deberán reconocer la importancia del sector rural y la leña en el sector residencial. Esta es una situación particular de los países en desarrollo y los países de la OCDE tienen poca experiencia en este sentido.

En cuanto al consumo de electricidad, la iluminación y refrigeración representan cerca del 60% del consumo de electricidad residencial (Landa, Sánchez, Malacara 1992) en México. Si en la mayoría de los países de la OCDE sólo se toman en cuenta los usos específicos eléctricos<sup>8</sup>, la refrigeración e iluminación representaban entre el 30 y 40% del consumo eléctrico en 1973, pero su contribución ha decrecido debido al aumento en la pertenencia de otros electrodomésticos.

En México, como en otros países en desarrollo, existen todavía familias que no cuentan con electricidad (de 5 a 10% ) y en el caso de tenerla, no tienen un importante número de electrodomésticos. Se estima, por ejemplo, que la saturación de los refrigeradores en México es de cerca del 60% (Maser et al 1991) y de lavadoras de ropa del 42%, mientras que estos aparatos tienen una saturación del 100% en los países de la OCDE.

Los apartados anteriores, los países de la OCDE impulsaron importantes regulaciones en las construcciones de las viviendas y hasta hace poco, Estados Unidos acordó un programa de estándares para los electrodomésticos. En fechas recientes México ha optado por seguir un programa de estándares en estos dos terrenos. Los resultados que se adopten serán de suma importancia para México y para otros países en desarrollo.

## 7.2 El precio de la energía

<sup>8</sup>Es decir no se toma en cuenta la electricidad utilizada para calefacción, calentamiento de agua y cocción, pues son usos que pueden ser cubiertos por otras fuentes de energía.

Como se mencionó en los incisos anteriores, los bajos precios de la energía en los países de la OCDE han disminuido la velocidad con la que la intensidad energética iba decreciendo. Esta situación tiene un efecto en los países en desarrollo a largo plazo, pues a bajos precios de la energía fósil, hay menor investigación en eficiencia y fuentes renovables. Debido a la internacionalización del mercado que va desde centrales eléctricas hasta electrodomésticos, esta situación no sólo afectará los países de la OCDE sino a nivel mundial. De la misma manera, el efecto ambiental en el aumento del consumo de energía provocado por los bajos precios, es un problema global, que no excluye a ningún país.

Mientras que en los países de la OCDE el elemento que guía la discusión para el aumento de los precios de la energía es el impuesto ambiental, en los países en desarrollo, es la disminución o desaparición de los subsidios gubernamentales. En estos países, el precio de la energía ha sido históricamente subsidiado.

El problema de los subsidios en la mayoría de los países en desarrollo es que no sólo se otorgan a aquellos que no pudieran pagar el precio real de la energía, sino que existe un sistema de subsidios que muchas veces beneficia en mayor medida a quien menos los necesita.

El aumento en el precio de la energía beneficia los programas de ahorro y uso eficiente pues da una señal correcta a los consumidores de lo que significa el uso de dicha energía. En los países en desarrollo, debido a las grandes diferencias sociales, a los servicios no cubiertos y al desorden que existe en los subsidios, el ajuste de los precios de la energía requerirá de un tiempo necesario que permita aplicar políticas de eficiencia que proporcionen el servicio a quienes no lo tienen y que reconozcan las importantes diferencias sociales.

## 8. Bibliografía

AIE (1990) Agencia Internacional de Energía, Balances Energéticos de los países de la ODCE, 1980/1990 París 1991

Howarth, R.B., Schipper L. (1991) "Manufacturing energy use in eight OECD countries: trends trough 1988". Energy Journal, Vol, 12(4):15-40.

**Ketoff A, y Schipper, L. (1990).** "Looking beyond the aggregate Figures: What really Happened to Household Energy Conservation", en Vine E. y Crawley D. (eds), State of the Art of Energy Efficiency: Future Durections. Washington DC. American Council for an Energy Efficient Economy.

**Meyers, S. 1987.** Energy Consumption and Structure of the US Residential Sector: Changes between 1970 and 1985. Annual Review of Energy. Vol 10.

**Schipper, L., Ketoff A., Kahane A., (1985)** "Explaining Residential Energy use by international Bottom-Up Comparisons". Annual Review of Energy Vol 10:341-305

**Schipper L. and D. Hawk, (1991).** "More Efficient Household Electricity use: An International Perspective" Energy Policy 19(3):244-263

**Schipper L. Meyers S, with Howarth R, and Steiner R, (1992)** Energy Efficiency and Human Activity: Past trends, Future prospects. Cambridge England: Cambridge University Press.

**Sheinbaum C. Schipper L (1993),** Residential Carbon Dioxide Emissions in OECD countries, 1973-1989 : A comparative analysis en Ling R and Wilhite H (eds) The Energy Efficiency Challenge for Europe. The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norway.

**Masera O, Friedman R, De Buen O, (1992)** Consumo Residencial de Energía en México: "Estructura, Impactos Ambientales y potencial de Ahorro", en Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el sector Residencial Mexicano. PUE, U. de California.

**OECD (1987),** Electricity use in the OECD countries. Francia .April 1987

**Tabla**  
**Electrodomésticos**  
**Consumo Unitario de Energía (kwh/año)**

	1973	1980-81	1986-87	1990
<b>Refrigerador*:</b>				
Estados Unidos	1450	1385	1320	1227
Japón	395	645	618	610
Alemania-occ.	339	387	395	411
<b>Secadora de ropa:</b>				
Estados Unidos	1050	939	914	900
Japón	~355	353	350	330
Alemania-occ.	475	395	355	355
<b>Lavadora de trastes:</b>				
Estados Unidos	300	207	164	165
Japón	800	600	310	310
Alemania-occ*.				
<b>Lavadora de ropa:</b>				
Estados Unidos	110	110	110	103
Alemania-occ.	390	340	273	275

\*Refrigerador con congelador

\*Los valores altos en Alemania son porque ests lavadoras calientan el agua que usan

Fuente: Schipper and Hawk (1991) e información mas reciente.

**Cambios en el Gasto Para Consumo Privado (OCDE)**

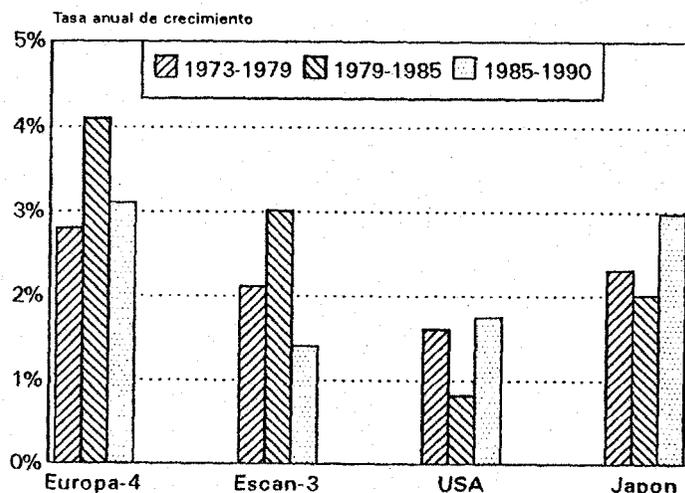


Figura 1

**Tabla 1**  
**Energía final**  
**1973-1990**

País	Energía final (PJ)		Energía final per capita (GJ)	
	1973	1990	1973	1990
EUA	11.33	10.86	53.6	43.4
Japón	0.91	1.62	8.1	13.1
Europa-4	6.28	6.62	29.1	29.5
Alemania-occ	1.98	2.10	31.9	33.3
Francia	1.8	1.73	28.5	36.1
Italia	1.58	1.7	29.9	29.6
Gran Bretaña	0.95	1.14	17.3	19.7
Escandinavia-3	0.75	0.71	43.6	39.5
Suecia	0.38	0.37	47.0	42.2
Dinamarca	0.12	0.17	29.3	40.5
Noruega	0.25	0.17	49.9	33.4

### Precio de la Energía en los países de la OCDE Promedio anual pesado por el consumo de la energía neta

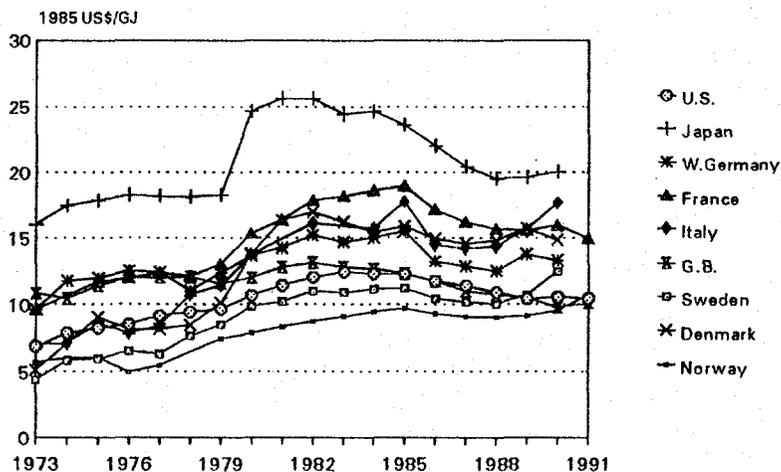


Figura 2

### Uso de la Energía Residencial (OCDE) Energía Final

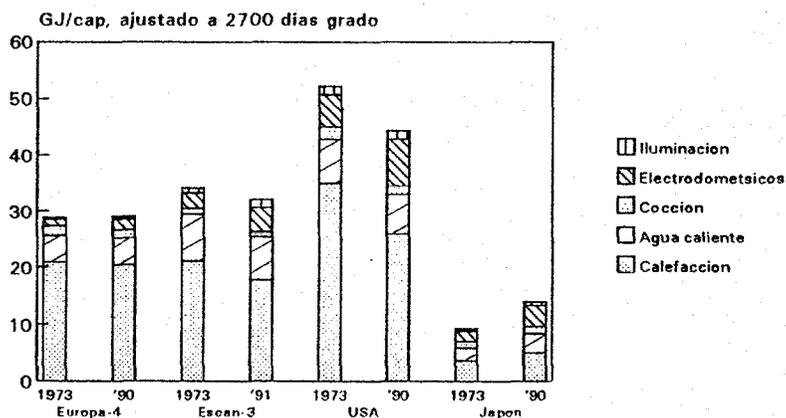


Figura 3

### Consumo de Energía residencial (OCDE) Intensidad Energetica Para Calefaccion (energía neta)

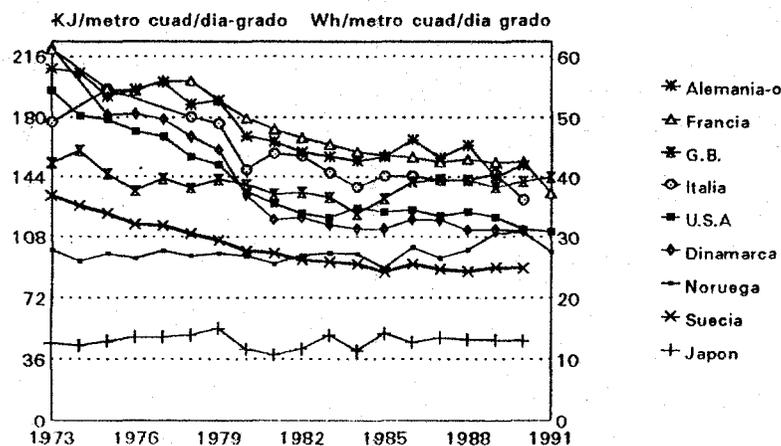


Figura 4

## ¿AHORRO DE ENERGIA O PRIVATIZACION? EL CASO DEL SECTOR ELECTRICO RESIDENCIAL DE MEXICO

RAFAEL FRIEDMANN

Energy & Resources Group  
University of California, Berkeley

Se examina la validez de la premisa que propone la privatización del sector eléctrico como una solución al problema de conseguir suficientes capitales de inversión para la continua expansión del sector. Se muestra que se puede reducir casi totalmente el crecimiento en la demanda prevista del sector residencial al año 2000, introduciendo tecnologías económicamente factibles para aumentar la eficiencia en los usos finales de electricidad residencial. Con el uso eficiente de la electricidad, se permite el desarrollo económico del sector residencial sin grandes incrementos en la demanda residencial de electricidad.

### INTRODUCCION

Hay una creciente tendencia a la privatización del sector energético latinoamericano.<sup>1</sup> Cuatro razones básicas se dan para explicar la necesidad de privatizar (Parra, 1993): 1) El desarrollo económico requerirá más electricidad y se piensa que será imposible asegurar suficientes fondos estatales para cubrir las necesidades de inversión previstas. Incluso se estima que la demanda eléctrica crecerá a un ritmo mayor al experimentado durante la década de los 80s como resultado de la esperada revitalización económica. Se estiman necesario una inversión de N\$ 45 a 66 mil millones anuales para toda latinoamérica y N\$ 11 a 12 mil millones anuales para México en la década de los 1990 (Barnett, 1992; CFE, 1992a; Moore y Smith, 1990; Van Horne, 1993).<sup>2</sup> Se supone que el sector privado proveerá las inversiones faltantes (Cartselos, 1993). 2) La privatización elimina los subsidios del estado al sector eléctrico. Intentos de reducir estos subsidios en el pasado han resultado en inestabilidad social.<sup>3</sup> Con el futuro incremento en la demanda, los montos de estos subsidios probablemente aumentarán. En México por ejemplo, el

sector residencial sigue recibiendo un subsidio cercano al 50%, equivalente a unos 3.9 mil millones N\$ anuales (CFE, 1993a; Friedmann, 1993). 3) La venta del sector eléctrico mejora la posición financiera del estado al captar grandes capitales y eliminar las erogaciones actuales en la continua expansión y operación del sector eléctrico. 4) Las compañías eléctricas públicas son ineficientes, con índices de empleados por kWh generado mucho mayores a los encontrados en el sector privado. Con el continuo crecimiento de la demanda eléctrica seguirán aumentando los problemas de ineficiencia.

Hay una creciente crítica que cuestiona los beneficios aducidos por los proponentes de la privatización. Esta crítica se ha centrado sobre los puntos 2 a 4 recién mencionados y sus argumentos no serán expuestos en más detalle aquí. Para una discusión extensa se refiere al lector a la extensa bibliografía del tema (Berrie y Berrie, 1993; Calabrese, 1993; Falconi y Reyes, 1993; Lapeña, 1993; Maldonado, 1993; Monteforte, 1992; Navas, 1993; OLADE, 1992; Peipmeier et.al., 1993; Quiani, 1993; Rosa, 1993; Samper, 1993; Velez y

Munera, 1993; Viquiera, 1993).

Lo que no se discute suficientemente es la validez de la premisa base que el desarrollo económico requiere de un continuo crecimiento en la demanda energética. En vez, ante este incremento supuesto de la demanda, se vislumbra una imposibilidad por parte del sector público de obtener los recursos financieros necesarios y además contar con una organización institucional que pueda administrar el sistema eléctrico y su crecimiento. Se piensa que el sector privado podrá proveer los fondos requeridos para la expansión del sistema y además eficientar la administración y operación del mismo, dando un mejor y más económico servicio a los usuarios. Estos argumentos olvidan que el desarrollo económico es el resultado de un incremento en los bienes y servicios de la economía. Aumentando la eficiencia con la que se usa la energía para producir bienes y servicios se puede incrementar el desarrollo económico sin necesariamente aumentar el consumo energético.

Ante la preocupación de que ocurra una privatización total o parcial en México antes de asegurar que el estado pueda integrar una entidad reguladora con la experiencia necesaria para asegurar el beneficio de los usuarios y que el Estado tenga que dar demasiadas concesiones a la industria privada para inducirla a invertir en el sector, en este trabajo se examinan la validez de la premisa base que el desarrollo económico a fuerzas requiere de más energía (Masera, de Buen, y Friedmann, 1991). Se piensa que con programas para impulsar un uso más eficiente de la energía, se puede reducir el crecimiento esperado de la demanda significativamente con un costo de inversión menor, obteniendo así más tiempo para modificar el sector eléctrico según se estime más conveniente a la sociedad. Los programas de ahorro de energía podrán dar tiempo para ganar experiencia sobre el perfil que tomará el sector eléctrico con una apertura

a generadores privados y eventualmente posible privatización total. Habrá que ver la experiencia que la nueva ley de servicio eléctrico y de la entidad reguladora creada para lidiar con los nuevos generadores privados, antes de decidir hasta que grado y cómo será necesario privatizar el sector eléctrico mexicano (Viquiera, 1993). Incluso en los E.E.U.U. en donde se tiene un largo historial de regulación de un sistema eléctrico mixto (público y privado), hay una creciente polémica de como regular el sistema ahora que nuevas tecnologías de generación han roto con el monopolio natural que caracterizaba al sistema (Dasovich, Meyer, y Coe, 1993; Kahn y Gilbert, 1993; Peipmeier, Jermain, y Egnor, 1993; Sioshansi, 1990; Woychik et.al., 1991).

#### **OBJETIVO:**

En este trabajo se examina que tanto se puede reducir el crecimiento en la demanda residencial de electricidad en México al año 2000 con aumentos en la eficiencia en los usos finales de la electricidad. Programas para promover el ahorro de electricidad en el sector residencial pueden ser una alternativa menos costosa que la de facilitar la entrada del sector privado a la generación de electricidad.

#### **AHORRO TECNICAMENTE FACTIBLE EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

Para determinar el ahorro potencial de electricidad en el sector residencial es necesario: 1) estimar el consumo actual y su eficiencia por usos finales; 2) estimar el crecimiento futuro de la demanda que se puede modelar como debido a la interacción del crecimiento en número de usuarios y el crecimiento en la intensidad del uso de electricidad por usuario; y 3) estimar los posibles incrementos en la eficiencia en el uso final de la electricidad y los ahorros resultantes. En varios trabajos anteriores se llevaron a cabo los anteriores pasos y se estimó el ahorro potencial en el

sector residencial (Friedmann, 1991 y 1993).

### Principales usos finales del sector residencial en 1991

A fines de 1991, alrededor del 75% del consumo total residencial de electricidad y un tercio de la demanda pico nacional se usó para iluminación (8.3 TWh y 2.6 GW pico), refrigeración (5.6 TWh y 2.3 GW pico) y televisión (2.6 TWh y 1.3 GW pico).<sup>4</sup> Investigadores del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) estiman que el aire acondicionado pudiera ser 15% de la demanda total residencial (Landa, Sánchez, y Malacara, 1992). La iluminación (37%), refrigeración (25%), aire acondicionado (15%), y televisión (13%) son responsables de 90% del consumo residencial de electricidad. El 10% restante se utiliza para equipos de sonido, video, bombeo de agua, planchado de ropa, lavado y secado de ropa, calefacción, etc.

### Posibles consumos al año 2000

El consumo futuro del sector residencial dependerá del incremento en el número de usuarios y de la intensidad con la que utilicen la energía eléctrica para satisfacer sus necesidades. Según CFE, se estima que el número de usuarios se incrementará en un 3.9% anual durante el período 1991-2001, alcanzando 22 millones de usuarios y un 100% cobertura. La intensidad aumentará de 1494 kWh/cápita anuales en 1991 a un ritmo entre 1.6% a 2.3% anual. Esto da un crecimiento total de entre 5.6% y 6.3% anual, alcanzando de 35.9 TWh a 38.1 TWh a fines del año 2000 (CFE, 1992a).<sup>5</sup>

Se estimaron los siguiente consumos y demandas pico para los principales usos finales residenciales al año 2000: 9.9 TWh y 2.7 GW en iluminación, 9.3 TWh y 3.3 GW en refrigeración, 3.4 TWh y 1.6 GW en televisión, y 7.1 TWh en aire acondicionado.<sup>6</sup> Esto implica un

crecimiento en estos cuatro usos finales de 9.9 TWh y por lo menos 1.9 GW de demanda pico (sin incluir aire acondicionado) al año 2000.

Se observa que la contribución de estos 4 usos finales al total residencial disminuirá durante esta década, alcanzado cerca 80% del total al año 2000 (en vez del 90% estimado en 1991). Esto recalca la importancia de identificar y tomar acciones para reducir los aumentos potenciales en los otros usos finales de la electricidad residencial.

### Posibles ahorros al año 2000

El potencial de ahorro dependerá de las tecnologías eficientes disponibles, de su factibilidad económica, mercadeo, y de aspectos socio-culturales que influyen tanto en el consumo de electricidad en las casas como en la decisiones de compra de electrodomésticos (Lutzenhiser, 1993). En esta sección se presentan resultados de lo que se cree podrá lograrse en materia de eficiencia residencial al año 2000. Se consideran solamente algunas tecnologías cuya factibilidad económica ha sido demostrada y un grado de penetración que parece factible bajo programas de promoción y normas de eficiencia mínima de aparatos electrodomésticos (Koomey et.al., 1991; Nadel et.al., 1993).

Para reducir el consumo eléctrico en la iluminación se puede introducir la tecnología de las lámparas compactas fluorescentes (LCF) (Atkinson et. al., 1992; Mills y Piette, 1993).<sup>7</sup> Las LCF utilizan entre 1/4 a 1/3 de la electricidad de un foco incandescente. Encuestas residenciales han demostrado la factibilidad de introducir unas 2 LCF por residencia en México. Se estima que con la introducción de las LCF se podría ahorrar 4.6 TWh y 2.4 GW de demanda pico.<sup>8</sup>

El IIE propone una serie de mejoras a la tecnología de los refrigeradores y equipos

de aire acondicionado nacionales para que su eficiencia alcance niveles similares a los requeridos por las normas mínimas de eficiencia energética de E.E.U.U. (Landa et.al., 1992).

Los refrigeradores nacionales de 3.7 a 13 pies cúbicos de capacidad consumen entre 44% y 117% más electricidad que refrigeradores que cumplen con la norma de E.E.U.U. de 1993 (Landa et.al., 1992). Hay en el mercado refrigeradores mucho más eficientes que lo que exige la norma de E.E.U.U. e incluso se acaba de otorgar un premio de 90 millones de N\$ a una empresa que promete fabricar a partir de 1994, cien mil refrigeradores que consumirán al menos 25% menos que lo que exige la norma (L'Ecuyer et.al., 1992; Petit, 1993; Treece, 1993).

Los equipos de aire acondicionado nacionales de 10 mil a 36 mil Btu/hora de capacidad tienen relaciones de eficiencia energética (REE) de 6.6 a 9.7 en contraste con la de los líderes tecnológicos cuya REE oscila entre 8 a 12; la norma de E.E.U.U. de 1990 pide un REE de 8 a 9. Además, en muchas zonas en donde es apropiado el uso de unidades de enfriamiento evaporativo se está en vez usando unidades a compresión, cuyo consumo eléctrico es varias veces mayor. Incluso, muchas de las unidades a compresión son usadas, importadas de E.E.U.U., y consumiendo alrededor del doble de lo que consumiría una unidad nueva de aire acondicionado (de-Buen, 1993).

Al año 2000, se estimó un posible ahorro de 1.4 TWh y 450 MW pico en refrigeración.<sup>9</sup> De los datos del IIE se interpoló un posible ahorro de 1.4 TWh y 120 MW en aire acondicionado. El valor del aire acondicionado subestima en mucho el potencial alcanzable con la introducción de arquitectura solar pasiva y aislamiento térmico de las casas. La CFE ha reportado ahorros de hasta 35% en el consumo

residencial al aislar los techos de casas en el norte de México (CFE, 1993b; Morales, 1992). Asimismo se podría promover el uso de unidades de enfriamiento evaporativo en donde sean factibles.

Para televisión se estimó un posible ahorro de 0.8 TWh y 320 MW pico.<sup>10</sup> Cabe resaltar que el mercado mexicano de televisores ha cambiado significativamente en los últimos años de uno en el que predominaban los televisores de blanco y negro pequeños a unidades a color de más de 20 pulgadas (CANIECE, 1992). Esto hace aún más imperioso asegurar que las unidades a la venta sean eficientes debido al mayor consumo de unidades a color y de mayores tamaños.

De los anteriores cálculos resulta una mínima reducción en la demanda residencial al año 2000 para iluminación, refrigeración, aire acondicionado, y televisión de 8.2 TWh y 3.3 GW pico. Es decir, se podría evitar 83% del incremento previsto en la demanda eléctrica de los cuatro usos finales residenciales más importantes al año 2000 si se utilizaran electrodomésticos eficientes.

## FACTIBILIDAD ECONOMICA DE LOS AHORROS IDENTIFICADOS

En esta sección se describen brevemente las experiencias con las tecnologías eficientes que demuestran su factibilidad económica. En lo posible se discute la experiencia Mexicana.

En México, CFE ha llevado a cabo 7 proyectos para la promoción de LCF en el sector residencial (Blanc, 1992). Todos estos proyectos fueron pilotos (entre varios cientos a unas miles de LFC), y sirvieron para verificar que la tecnología servía y para probar diferentes métodos de mercadeo. Hay dos proyectos de CFE en planeación, uno en Aguascalientes seguido por otro en Guadalajara y Monterrey en los que se introducirán cientos de miles a

varios millones de LFC. Estudios de factibilidad económica han mostrado grandes beneficios a obtener con estos proyectos (Friedmann, 1990). Faltará ver si los beneficios en México asemejan los obtenidos en múltiples programas en los países industrializados (Hewitt et. al., 1992; Krause, Vine, y Gandhi, 1989; Mills, 1991; Mills y Borg, 1991; Mills, 1993; Nadel, Atkinson, y McMahon, 1993). En cuarenta programas de LCF en Europa se reportó un costo promedio de ahorro de energía (incluyendo costos administrativos) de 0.065 N\$/kWh (Mills, 1993). Esto es significativamente menor al costo marginal promedio a nivel distribución para México de 0.192 N\$/kWh (EDF/ENDESA, 1992). Esto implica un ahorro en el año 2000 de 584 millones de N\$ (4.6 TWh ahorrados \* 0.127 N\$/kWh).

Los estudios realizados por el IIE para la elaboración de las normas de eficiencia energética mínima para refrigeradores y equipos de aire acondicionado también han examinado la factibilidad económica de estas normas. En ambas situaciones se encontraron importantes beneficios económicos. Por ejemplo, para reducir el consumo anual de un refrigerador de 272 litros de capacidad de los actuales 747 kWh a solo 296 kWh, a obtenerse con la introducción de mejores compresores, aumentos en el espesor del aislante del gabinete, sellos mejorados y revisión del diseño del evaporador y el condensador, solo se incrementaría su precio de 1,293 N\$ a 1,550 N\$; es decir una reducción de 60% en el consumo se obtendría con un incremento de 20% en el precio (Flores et. al., 1993). Esto implica un costo de ahorro de 0.076 N\$/kWh en estos refrigeradores (asumiendo 20 años de vida útil y 12% tasa de descuento). Si se supone en promedio el mismo costo de ahorro para los 7 millones de refrigeradores a venderse en esta década, entonces se obtendría un ahorro de unos 162 millones de N\$ en el año 2000.

Obviamente la experiencia dirá qué tan económicamente viable es la introducción de las tecnologías más eficientes. Será importante evaluar cuidadosamente programas de ahorro de energía para minimizar sus costos de implementación.

Dentro de un panorama de mayor competencia internacional y normas de eficiencia mínima nacionales, probablemente los incrementos a la eficiencia de los aparatos producidos en México será la única manera de sobrevivir en los mercados futuros de enseres domésticos.

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la promoción de electrodomésticos eficientes puede reducir en un 83% (8.2 TWh y 3.3 GW demanda pico) la demanda total prevista para en los cuatro usos mayores del sector residencial al año 2000. Existen tecnologías cuya factibilidad económica ha sido demostrada en otros países para lograr tales ahorros. Tan solo en iluminación y refrigeración, la introducción de tecnologías más eficientes pudiese resultar en un ahorro de unos 746 millones de N\$ en el año 2000.

Aunque en este trabajo sólo se ha examinado el sector residencial, resultados similares son probables para los otros sectores de la economía. Incluso, en la industria y el comercio se pudiesen dar mayores ahorros debido a inversiones para modernizar la planta productiva y reducir los costos energéticos (RCG/Hagler, Bailly, 1991).

En vista del potencial para reducir el crecimiento en la demanda residencial, no existe un problema insoluble de futuro crecimiento en el suministro eléctrico que requiera de inversión privada. Mas bien convendría reenfocar los esfuerzos del sector para aumentar la eficiencia tanto dentro de sus instalaciones e institución,

como en los usos finales de sus usuarios.

La eficiencia en los usos finales tampoco es la única política a seguir. Lo ideal será una eficientación del sector eléctrico en que deberán entrar nuevas fuentes de generación y de eficiencia que podrían ser públicas o contar con participación del sector privado. Lo importante será realizar cambios con cautela y experimentar incrementalmente.

## NOTAS

1. Por privatización se incluye la venta total del sector público, la creciente inversión privada en nuevas plantas de generación y transmisión de electricidad, y la generación independiente tanto para uso interno como para venta de electricidad al sistema nacional.

2. El valor reportado por el Banco Mundial para México supone un incremento de capacidad de generación instalada a 44,033 MW y demanda pico de 32,415 MW en 1999 con un costo promedio de US\$ 1949 por kW. CFE estima inversiones en generación, transmisión, distribución, inversiones globales, y mantenimiento de 40,065 millones de US\$ (31,702 US\$ millones de fuentes públicas; 8,363 millones de US\$ de financiamiento privado) entre los años de 1992 y 2000. La capacidad instalada prevista alcanzará 41,953 MW en 2000, 15,156 MW más que a fines de 1991.

3. Entre el 12 de noviembre de 1991 y 20 de octubre de 1992 no hubo ajustes a las tarifas residenciales. A partir del 21 de octubre de 1992 se introdujo un mecanismo de incremento mensual en las tarifas residenciales equivalente a entre 7.06% y 9.9% anual (CFE, 1992b). Estos incrementos en las tarifas son similares a la inflación que en 1992 alcanzó un 9.9% anual.

4. Los valores reportados fueron obtenidos

con los siguientes datos y supuestos. Iluminación: demanda anual igual a 107 millones de bulbos incandescentes de 77.5 Watts en promedio prendidos 1,000 horas anuales; demanda pico igual a 2 focos prendidos en cada casa de los 15.1 millones de usuarios residenciales. Refrigeración: demanda anual de 9.1 millones de refrigeradores usando unos 618 kWh anuales. Demanda pico obtenida asumiendo 40% coincidencia con pico. Televisión: Unos 11.75 millones de televisores usando 100 Watts durante 6 horas diarias y 80% coincidencia durante pico. Para mayores detalles véase Friedmann, 1993.

5. Estos valores de crecimiento esperado por CFE son menores que los acontecidos entre 1990 y 1992 durante los cuales el número de usuarios aumentó de 14.3 millones a 15.8 millones y el consumo de 20.4 TWh a 24 TWh anuales. De 1990 a 1991, el número de usuarios aumentó en 5.5% y el consumo en 7.8%. De 1991 a 1992 el número de usuarios aumentó 4.9% y el consumo en 9.4% (CFE, 1993). Esto comprueba el alto grado de electrificación residencial y la creciente adquisición de electrodomésticos de mayor intensidad eléctrica. Se cree que en el futuro disminuirá la tasa de crecimiento de nuevos usuarios (debido al alto grado de electrificación; algo que pudiera ser contrareestado por la urbanización y su consecuente reducción en el tamaño de las familias). El crecimiento de la intensidad eléctrica dependerá más que nada en el desarrollo de la economía y la continua apertura económica.

6. Las cifras para iluminación, refrigeración, y televisión provienen de Friedmann, 1993. Para iluminación se supuso un crecimiento de 2% anual. En refrigeración y televisión se supuso que en la década de los 90, se venderían el mismo número de unidades que en la década de los 80s, es decir 6 millones de refrigeradores y 7 millones de televisores.

Se supuso que 15% de los refrigeradores y 50% de los televisores reemplazarían a unidades que saldrían del servicio, dando un total de 15.1 millones de refrigeradores y 15.25 millones de televisores en el año 2000. Para el aire acondicionado se extrapó el consumo supuesto en 1991 (15% del total, o 3.3 TWh), asumiendo un crecimiento en la demanda del 10% anual, cifra utilizada por Landa et. al. 1992. Desgraciadamente se desconoce el número y consumo unitario de las unidades de aire acondicionado y su factor de uso, lo que imposibilita determinar el incremento en la demanda pico debido al crecimiento del aire acondicionado.

7. Las LCF son una de varias posibles mejoras que actualmente existen para reducir el consumo en iluminación residencial que actualmente es casi en su totalidad con focos incandescentes. Otras posibles tecnologías son aumentar el uso de luz natural, focos incandescentes "eficientes", y lámparas de halógeno (Atkinson et.al., 1992; Baker, 1991; Nadel et.al., 1993).

8. Se asumió 2 LCF por casa, 6 horas de uso diario, 58 Watt de ahorro por LCF, y 12.6% de pérdidas de transmisión y distribución a horas pico.

9. Se asumió que los 7 millones de refrigeradores vendidos en esta década cumplirían con la norma de E.E.U.U. de 1993, es decir un ahorro de unos 198 kWh/refrigerador (Friedmann, 1993). Estos valores se asemejan a los obtenidos interpolando los resultados del IIE de unos 2.1 TWh y 360 MW pico al año 2000. La diferencia se debe a que el IIE asumió una tasa de crecimiento en la demanda de 3.5% anual, examinó toda la gama de productos nacionales en vez de un modelo promedio, un tiempo de encendido 50% mayor, y la entrada de los refrigeradores que cumplen con la norma de E.E.U.U. solo a partir de 1994.

10. Se asumió que los 7 millones de televisores consumirán 50 Watts menos por unidad durante las 6 horas de uso diario y 80% coincidencia con pico (Friedmann, 1993).

## BIBLIOGRAFIA

Atkinson, B., J. McMahon, E. Mills, P. Chan, T. Chan, J. Eto, J. Jennings, J. Koomey, K. Lo, M. Lecar, L. Price, F. Rubinstein, O. Sezgen, y T. Wenzel. 1992. Analysis of Federal Policy Options for Improving U.S. Lighting Energy Efficiency: Commercial and Residential Buildings. LBL-31469. (diciembre).

Baker, W.S. 1991. Lighting Options for Homes. Bonneville Power Administration. (abril). 29 págs.

Barnett, A. 1992. "The financing of electric power projects in developing countries". Energy Policy. (abril). pág. 326-333.

Berrie T.W., y T.C. Berrie. 1993. "Utility management, ownership and accountability in the 1990s". Utilities Policy. (enero). pág. 81-85.

Calabrese, J. 1993. "El Rol del Estado en el Sector Energía de América Latina". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

CANIECE. 1992. Memorias.

Cartselos, T., W. Meade, y L. Hernández. 1993. "Double-Digit Growth". Independent Energy. (septiembre). pág. 20-31.

Comisión Federal de Electricidad (CFE). 1992a. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico - Preliminar. (POISE). CFE, (marzo).

CFE. 1992b. Tarifas Para el Suministro y Venta de Energía Eléctrica. CFE (22 de octubre).

CFE. 1993a. Información Básica. CFE.

CFE. 1993b. "Experiencia de CFE en Programas Para el Uso Eficiente de la Energía Eléctrica". (mayo).

Dasovich, J., W. Meyer, y V. Coe. 1993. California's Electric Services Industry: Perspectives on the Past, Strategies for the Future. California Public Utilities Commission, San Francisco, California. (3 de febrero). 200 págs.

De Buen, O., y E. Woychik. 1992. "Northern Mexico's Rapid Growth from Air Conditioning: What Impacts from Appliance Dumping, What Solutions?" 1992 International Energy Efficiency and DSM Conference Proceedings. Toronto, Canada. (21 octubre).

EDF/ENDESA. 1992. Estudio Tarifario. Entregado a CFE.

Falconi, F. 1993. "Impactos de la Aplicación del Modelo de Ajuste Estructural en los Sectores Económicos, Sociales y Especialmente Energéticos de América Latina". presentado en ENERLAC 1993. Bogota, Colombia. (julio).

Flores Puebla, H., R. Covarrubias, R. Landa, I. Sánchez, y E. Campeño. 1993. "Análisis de Impactos del Estudio Para la Formulación y Aplicación de Normas de Consumo de Energía en Refrigeradores Domésticos". Documento No. 3227EERF.080, I.I.E., (abril).

Friedmann, Rafael. 1990. "Viabilidad Económica de las Lámparas Fluorescentes Compactas en el Sector Residencial Mexicano". XI Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía. México D.F., 26 a 30 de noviembre. México. pág. 203-213.

Friedmann, Rafael. 1991. "El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro". XII

Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía. México D.F., 25 a 29 de noviembre. México. pág.

R. Friedmann. 1993. "Mexico's Residential Sector: Main Electric End-Uses and Savings Potential". Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study: The Energy Efficient Challenge for Europe. R. Ling and H. Wilhite (eds.). The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norway. Vol. 1, pág. 311-322.

Hewitt, D., J. Pratt, D. Berkowitz, P. McCarthy, K. Kelly. 1992. "Shooting in the Dark: Making Residential Lighting Programs Work". Proceedings ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Vol. 5, (agosto). pág. 5.101-5.107.

Krause, F., E. Vine, y S. Gandhi. 1989. Program Experience and Its Regulatory Implications: A Case Study of Utility Lighting Efficiency Programs. LBL-28268. (octubre).

Koomey, J., C. Atkinson, A. Meier, J. McMahon, S. Boghosian, B. Atkinson, I. Turiel, M. Levine, B. Nordman, y P. Chan. 1991. The Potential for Electricity Efficiency Improvements in the U.S. Residential Sector. LBL-30477, (julio).

Landa, R., I. Sánchez, y M. Malacara. 1992. "Potenciales de Ahorro de Energía en Refrigeradores Domésticos y Equipos de Aire Acondicionado". XIII Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios. ATPAE. (noviembre). pág.511-517.

Lapeña, J. 1993. "Reforma Económica y Sector Energético". presentado en ENERLAC 1993. Bogota, Colombia. (julio).

L'Ecuyer, M., H. Sachs, G. Fernstrom, D. Goldstein, E. Klumpp, y S. Nadel. "Stalking the Golden Carrot: A Utility Consortium to Accelerate the Introduction of Super-

Efficient, CFC-Free Refrigerators". Proceedings ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Vol. 5, (agosto). pág. 5.137-5.145.

Lutzenhiser, L. 1993. "Social and Behavioral Aspects of Energy Use". Annual Review of Energy and Environment. Vol. 18. pág. 247-289.

Maldonado, P., J. Lebens, y H. Castro. 1992. "DSM in Chile: Possible with the Current Regulatory System?" International Energy Efficiency and DSM Conference Proceedings. Toronto, Canada. (21 de octubre). pág. 489-500.

Masera, O., O. De Buen, and R. Friedmann. 1991. "Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Potencial de Ahorro e Impactos Ambientales". Primera Reunión Internacional: Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. Energy & Resources Group, University of California, Berkeley y Programa Universitario de Energía, UNAM. (2 y 3 de diciembre) México D.F. pág. 73-96.

Mills, E. 1991. "Evaluation of European Lighting Programmes". Energy Policy. (abril). pág. 266-278.

Mills, E., y N. Borg. 1991. "Short-Term Financial Impacts of Energy-Efficiency Programmes on European Electric Utilities". Proceedings of the 1st European Conference on Energy-Efficient Lighting. pág. 305-318.

Mills, E. 1993. "Efficient Lighting Programs in Europe: Cost Effectiveness, Consumer Response, and Market Dynamics". Energy. Vol. 18, No. 2. pág. 131-144.

Mills, E., y M. Piette. 1993. "Advanced Energy-Efficient Lighting Systems: Progress and Potential". Energy. Vol. 18, No. 2. pág. 75-97.

Monteforte, R. 1992. "Organization of the

Electric Power Sector in Mexico". Utilities Policy. (abril). pág. 149-157.

Moore, E., y G. Smith. 1990. Capital Expenditures for Electric Power in the Developing Countries in the 1990s. Energy Series Paper No. 21, The World Bank, Washington D.C., (febrero). pág. 94.

Morales, L. 1992. "Acondicionamiento de Vivienda en Zona Cálida Seca: Caso Mexicali, Baja California". Primera Reunión Internacional: Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano. Energy & Resources Group, University of California, Berkeley y Programa Universitario de Energía, UNAM. (2 y 3 de diciembre, 1991). pág. 185-190.

Nadel, S., B. Atkinson, y J. McMahon. 1993a. "A Review of U.S. and Canadian Lighting Programs for the Residential, Commercial, and Industrial Sectors". Energy. Vol. 18. pág. 145-158.

Nadel, S., D. Bourne, M. Shepard, L. Rainer, y L. Smith. 1993. Emerging Technologies to Improve Energy Efficiency in the Residential & Commercial Sectors. ACEEE, Davis Energy Group, y E-Source. California. (febrero). 177 págs.

Navas, F. 1993. "Aplicación de un Enfoque Sistemático al Diseño Total de la Regulación y el Control del Sector Eléctrico Público y Privado de un País". presentado en ENERLAC 1993. Bogota, Colombia. (julio).

OLADE. 1992. El Rol del Estado en el Sector Energía. OLADE, Quito, Ecuador. (noviembre). 302 págs.

Parra, A. 1993. presentación magisterial en ENERLAC 1993. Bogota, Colombia. (julio).

Peipmeier, J., D. Jermain, y T. Egnor. 1993. "Breakup of the Bell Monopoly: Lessons for Electric Utilities". The Electricity Journal. (julio). pág. 45-51.

Petit, C. 1993. "Low-Energy Refrigerator Wins \$30 Million Prize". *San Francisco Chronicle*. (30 de junio).

Quiani, H., y R. Hasson. 1993. "El Nuevo Regimen Regulatorio Eléctrico: Riesgos Futuros y Lineamientos Alternativos". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

RCG/Haggler, Bailly, Inc. 1991. "Preliminary Analysis of Demand Side Management in the Industrial Sector in Mexico". RCG/Haggler, Bailly, Inc. (1 de noviembre).

Rosa, L. 1993. "The State as a Regulator and the Privatization of Enterprises in the Power Sector: Theoretical and Political Aspects". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

Samper, E. 1993. "El Papel del Estado en la Prestación de los Servicios Públicos: El Caso del Sector Eléctrico". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

Sioshansi, F. P. 1990. "Independent power generation - where is it headed? *Utilities Policy*, (October), pág. 9-12.

Treece, J. 1993. "The Great Refrigerator Race". *Business Week*. (5 de julio). pág. 78-81.

Van Horne, R. 1993. "Huge Capital Requirements for the Energy Sector: Where Will the Money Come From". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

Velez Alvarez, L., y L. Munera. 1993. "Condiciones para la Prestación Eficiente de los Servicios Públicos por Parte de una Empresa Pública". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

Viquiera, J. 1993. "El Desarrollo Futuro de la Industria Eléctrica de México en el Contexto del Tratado de Libre Comercio de

América del Norte". presentado en **ENERLAC 1993**. Bogota, Colombia. (julio).

Woychik, E., M. Hoover, C. McDonald, y M. King. 1991. "Deregulation or Incentive Regulation?--Alternative Approaches for the Electric Utility Industry in the 1990's". *IAEE*, Honolulu, Hawaii. pág. 1037-1047.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el patrocinio de The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation y The Tinker Foundation. Se agradece también a numerosos colegas mexicanos y de Estados Unidos con los cuales se han tenido extensos intercambios de información e ideas, destacando aquí a: R. Covarrubias, R. Landa, I. Sánchez, y M. Malacara del IIE; A. Hernández, J. Palomares, E. Vargas, R. Saucedo, J. Sada Gámiz, A. Blanc, y H. Montoya de CFE, G. Rodriguez, A. Rojas, y R. Cepeda de GRECA; G. Fernández de CONAE; Y. Mendoza de Pemex; E. Campero de UAMA; L. Fernández y O. de Buen de DEPMI/UNAM; J. Villaseñor de Philips Mexicana; L. Hurtado de Osram; F. Brull de Focos; J. Sathaye y A. Gadgil de L.B.L.; R. Sturm y M. Totten de I.I.E.C.; D. Lane de S.C.E.; y F. Herrera de L.A.P.W.D.

**IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACION EN COMERCIOS Y SERVICIOS Y ALGUNOS CRITERIOS PARA AHORRAR ENERGIA ELECTRICA**

por

**ING. ALICIA ISABEL BANDALA PIMENTEL  
FIDE**

**RESUMEN**

Dentro de los proyectos realizados en la Gerencia de Comercios y Servicios del FIDE, se encuentran proyectos en almacenes departamentales, tiendas de autoservicio, edificios de oficinas, escuelas y hospitales. A la fecha contamos con 57 proyectos realizados, en los cuales en 47, la corrección del sistema de iluminación fue una de las medidas a aplicar. En este trabajo mostraremos las acciones correctivas de iluminación que han sido factibles de aplicar desde el punto de vista técnico y económico, los porcentajes de ahorro que han sido posibles obtener y algunas consideraciones adicionales.

**RESUMEN DE ACCIONES:**

NO. PROYECTOS DONDE INTERVIENE LA ILUMINACION	47
PORCENTAJE	100%
NO. DE PROYECTOS CON REFLECTORES DE ALUMINIO	22
PORCENTAJE	46%
NO. PROY. (LAMPARAS Y BALASTROS AHORRADORES)	19
PORCENTAJE	40%
NO. PROY. CON LAMPARAS T-8 Y BALASTROS ELECT.	1
PORCENTAJE	2%
NO. PROY. CON CONTROLES DE ILUMINACION (HORARIO)	13
PORCENTAJE	27%
NO. PROY. CONTROLES ILUMINACION (LUZ, PRESENCIA)	4
PORCENTAJE	8%

2.- Reducir el número de watts por luminario al 50%. En el caso de luminarios de 2 lámparas poder tener 1 instalada y en el caso de 4 lámparas, solo instalar 2.

Es importante aclarar que no en todos los casos el uso de reflectores ópticos fue lo mas adecuado, ya que en la mayoría de las veces, las pruebas realizadas mostraron que el nivel de iluminación se disminuyó y se imposibilitó su uso en oficinas donde el nivel de iluminación existente era apenas el mínimo aceptado.

Ahora bien, para instalaciones muy antiguas, permitieron aumentar la eficiencia de los gabinetes que ya habían perdido sus niveles de reflectancia y calidad de pintura, por lo que fueron la alternativa mas rentable.

**UTILIZACION DE REFLECTORES OPTICOS**

Como todos sabemos, el uso de reflectores ópticos tiene primordialmente dos objetivos:

1.- Aumentar el nivel de iluminación sin aumentar la carga instalada.

Para la instalación de reflectores ópticos, la Gerencia de Comercios y

Servicios del FIDE, solicita a los proveedores, además de los resultados de laboratorio, pruebas realizadas en campo, tomando las lecturas de iluminancia antes y después de instalar los reflectores. Asimismo, las mediciones realizadas deben considerar factores que pueden alterar los resultados, tales como la suciedad de los gabinetes antes de instalar los reflectores, utilizar en las pruebas lámparas que no sean nuevas, (éstas emiten mayor flujo luminoso).

Por otro lado, para nuevas construcciones o en remodelaciones completas, hemos recomendado gabinetes de alta calidad en lugar de gabinetes mas baratos con un reflector incorporado. Para la adquisición de un luminario de calidad se deben considerar factores como el calibre de lámina, reflectancia de la pintura, bases de calidad y difusores de acrílico.

#### OTROS COMENTARIOS SOBRE EL USO DE REFLECTORES:

1.- El uso de reflectores modifica la distribución de la iluminación, produciendo una pérdida de uniformidad en el nivel de iluminación, así como un efecto oscuro en la periferia superior de las paredes, el cual puede ser minimizado con un color de pintura altamente reflectiva.

2.- Salvo excepciones, el uso de reflectores no proporcionó el mismo nivel de iluminación al retirar el 50% de las lámparas.

En este caso se han efectuado las siguientes acciones complementarias:

- a) Instalación de lámparas de mayor emisión de flujo luminoso: por ejemplo sustitución de luz de día por blanco frío o lámparas T-8.
- b) Pintado de las paredes, columnas y techos a colores mas claros.

3.- En muchos proyectos se han obtenido ahorros mayores al 50%, al combinar los reflectores con lámparas y balastros ahorradores.

4.- También se han obtenido ahorros en los costos de la energía por la disminución de carga térmica al tener menos lámparas instaladas.

#### CAMBIO DE DIFUSORES

El uso de difusores tiene como objetivo distribuir la iluminación de manera más uniforme así como evitar el deslumbramiento. En la sustitución de difusores, siempre hemos recomendado adquirir acrílicos, que aunque mas caros, duran más. En sí, la sustitución de los difusores no aporta ahorros de electricidad, incluso los períodos de amortización pueden elevarse a un año adicional al combinarse con medidas de ahorro. Por lo tanto, en la mayoría de los proyectos que hemos realizado, corrió por cuenta del usuario la sustitución de los difusores. En algunos casos se tuvo que hacer una gran labor con los dueños de los inmuebles para convencerlos de que no deben

escatimarse los gastos, cuando se trata de mejorar el confort visual y estética de las instalaciones.

La limpieza periódica de estos difusores es básica para asegurar que el mayor porcentaje de luz sea transmitida hacia las áreas de trabajo; sin embargo es una actividad que no se ha logrado incorporar dentro de las políticas de mantenimiento de las instalaciones.

Actualmente hemos promovido el uso de louvers parabólicos, que reducen el deslumbramiento, sobre todo en áreas de cómputo.

#### USO DE LAMPARAS Y BALASTROS AHORRADORES

1.- Para el caso de los sistemas fluorescentes, las alternativas mas interesantes han consistido en la sustitución de lámparas de 75W, por 60W con balastos a h o r r a d o r e s e l e c t r o m a g n é t i c o s ; sustitución de lámparas de 40W o 39W por lámparas de 34W con balastro ahorrador, (en cualquier caso, se ha realizado el cambio de bases por otras de buena calidad). Cabe mencionar que las lámparas ahorradoras que sustituyen a las normales, tienen un flujo luminoso inferior, por lo que en todos los proyectos se han sustituido lámparas tonalidad luz de día por blanco frío:

<u>TIPO DE LAMPARAS</u>	<u>LUMENES</u>
LAMP. TL-75W Luz de día	5,200
LAMP. TL-60W Luz de día	4,850
LAMP. TL-60W Bco. frío	5,400
LAMP. TL-40W Luz de día	2,600
LAMP. TL-39W Luz de día	2,500
LAMP. TL-34W Luz de día	2,350
LAMP. TL-34W Bco. frío	2,650

Por otro lado, la tendencia en el mercado internacional es hacia el uso de sistemas fluorescentes tipo T-8 con balastos electrónicos; sin embargo, hoy en día, los precios de los balastos de este tipo han impedido que en nuestro país se instalen en proyectos de ahorro. De hecho, en esta Gerencia solamente contamos con una experiencia combinando las tecnologías anteriores. No obstante lo anterior, estamos en desarrollo de dos proyectos que serán innovadores, pues se instalarán sistemas T-8 pero con balastos magnéticos ahorradores, que aunque no proporcionan el nivel de ahorro y duración que los electrónicos, se amortizan en períodos que van de 2.1 a 2.8 años aproximadamente.

2.- En el caso de sistemas incandescentes, si se trata de iluminación de tipo general, éstas fuentes se han sustituido por fluorescentes compactas equivalentes en cuanto a flujo luminoso se

refiere. Conforme se han dispuesto de lámparas más compactas y estéticas, su aplicación se ha ampliado a cualquier tipo de instalación.

En el caso de tiendas departamentales, en donde la iluminación artística juega un papel importante para lograr atraer a los consumidores, la sustitución de lámparas incandescentes como señalamos en el párrafo anterior, no fue posible ya que las fuentes fluorescentes compactas no pudieron mantener algunos criterios de rendimiento de color e iluminación puntual que las lámparas incandescentes reflectoras permiten. En estos casos, se tuvieron que considerar lámparas incandescentes halógenas tipo spot, más eficientes que las anteriores, así como lámparas de alta presión tipo sodio blanco y aditivos metálicos que hoy en día se utilizan en luminarios muy compactos para iluminar decorativamente.

#### AHORRO DE ENERGIA POR CONTROL DE LUZ

Existen varias posibilidades de ahorrar energía mediante el control de la iluminación.

##### a) Control luminoso (fotoceldas).

Mediante el uso de fotoceldas, se ha podido ahorrar energía en oficinas que colindan con ventanas. Por un lado se puede utilizar solo un porcentaje de la iluminación artificial aprovechado más la luz natural.

Por otro lado, existen casos en donde se inhibe el uso de la luz artificial, mientras la luz natural sea suficiente durante el día.

Es importante considerar factores como el uso de cortinas o persianas, ya que si la oficina que tiene la fotocelda instalada, tiene cerradas sus cortinas, el nivel de iluminación artificial del resto de las oficinas conectadas a la fotocelda, se elevará aun cuando la iluminación natural sea suficiente. La

ubicación de las fotoceldas, ha sido un factor importante, ya que es necesario evitar sombras ocasionadas por arbustos u otros objetos.

El uso de fotoceldas para alumbrado fluorescente, implica la adquisición de balastos electrónicos, si es el caso que se desee regular la cantidad de luz, por lo tanto las inversiones necesarias son mayores, lo mismo que los ahorros.

##### b) Control horario.

Este se ha realizado mediante la programación de los encendidos y apagados de los circuitos de iluminación, tomando en cuenta las costumbres de uso del inmueble en cuestión.

Existen muchos controladores, desde los económicos temporizadores conectados en los tableros de pisos, y que han resultado la mejor alternativa en el caso de planteles educativos, hasta los sofisticados programadores PLC's que pueden incluir terminales de computadora para programar y consultar desde la oficina

del encargado de mantenimiento. Este tipo de sistemas, han sido rentables en proyectos donde se controlan todo tipo de cargas además de la iluminación como el aire acondicionado, refrigeración, bombeo, etc. La mejor opción ha dependido de la situación económica y flexibilidad deseadas.

c) Control de ocupación (separación de circuitos).

Esta medida permite zonificar cada oficina o área determinada, de manera que cada una cuente con su control de apagados independiente. En la mayoría de los proyectos ha resultado más económica la utilización de apagadores manuales, sin embargo hemos constatado que el factor humano siempre perjudica la obtención de los ahorros pronosticados. En pocos proyectos se han utilizado los sensores de presencia que se instalan en lugar de los apagadores o en los techos y que automáticamente encienden o apagan la iluminación en base a la detección de un ser humano. Aquí también la decisión dependió del presupuesto disponible así como del grado de control deseado.

**CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE SENSORES DE PRESENCIA CONTRA CONTROLES DE TIEMPO**

Debido al alto precio de los sensores de presencia, en la mayoría de los casos el uso de temporizadores ha sido más aceptado para el control de la iluminación. Sin embargo, existen algunas condiciones que limitan la instalación de temporizadores como:

1.- En inmuebles donde el patrón de ocupación es muy irregular en todas las oficinas. En estos casos, el uso de sensores es más flexible.

2.- En inmuebles donde la iluminación está mezclada con otros sistemas eléctricos, el control automático por sensores de presencia es lo más viable.

Un problema que hemos detectado en el uso de sensores de ocupación, es su ubicación, ya que de esta dependen falsos encendidos y/o apagados.

La mejor ubicación es a la entrada de la oficina, en la pared inmediata, opuesta a la del giro de la puerta.

Para ajustar la sensibilidad y delimitar la zona de cobertura deseada, hemos utilizado cintas adheribles, para tapar la lente en la dirección de visión no deseada.

Por otro lado, no recomendamos su instalación en pasillos muy concurridos o áreas generales ya que con el paso de solo una persona se enciende un gran grupo de luminarias innecesariamente.

**TIPOS DE SENSORES DE PRESENCIA**

- **TECNOLOGIA INFRARROJA.**  
Pasivos. Reaccionan sólo a fuentes de energía como el cuerpo humano. Por lo tanto son menos sensibles a pequeños movimientos y son ciegos ante cualquier barrera, por lo que son adecuados para pequeñas oficinas, áreas delimitadas y espacios de bajo movimiento.

- **TECNOLOGIA ULTRASONICA.**  
 Activos. Contienen un transmisor y receptor de ondas sonoras que permite la continua detección del mas mínimo movimiento. Por su principio de funcionamiento son capaces de ver la presencia humana aun cuando el ojo del sensor no vea directamente a la persona. Su utilización es mejor en oficinas abiertas, salas de conferencia, o espacios de poco movimiento.

d) Control de demanda  
 Como sabemos, controlar la demanda, implica limitar los KW en una determinada hora mediante la desconexión de algunas cargas, por algunos minutos, y sin afectar el confort. En el caso de la iluminación interior de cualquier inmueble, no ha sido posible la aplicación de este criterio, ya que es indispensable para el desempeño de las actividades.

Lo que se ha podido realizar para limitar la demanda, es el control de la iluminación exterior ornamental. En general son otros los sistemas eléctricos que se controlan para limitar la demanda.

#### **CONCLUSIONES GENERALES:**

- 1.- La limitante para el uso de tecnología de punta de sistemas de ahorro de energía, ha sido el costo de estos equipos.
- 2.- Un factor que ha afectado la credibilidad de las bondades del ahorro de la

energía, es la existencia de proveedores ignorantes que sorprenden a sus clientes, creándoles desconfianza.

3.- Hemos detectado la importancia de que todas las partes involucradas en un proyecto estén plénamente convencidas de los programas de ahorro. Para ello es necesario, que por un lado, los encargados de mantenimiento conozcan los beneficios técnicos de los proyectos de ahorro de energía y por otro lado, puedan expresarle a los propietarios de los inmuebles los beneficios económicos del ahorro.

4.- Asimismo, la carencia de una normalización de ahorro de energía eléctrica en equipos eléctricos, ha permitido la gran importación de equipos no eficientes que en otros países son obsoletos.

5.- La tabla siguiente, muestra los resultados generales de disminución de densidad de carga instalada por concepto de iluminación y por tipo de proyecto que hemos realizado.

<u>TIPO DE PROY.</u>	<u>ANTES</u> <u>W/m<sup>2</sup></u>	<u>DESPUES</u> <u>W/m<sup>2</sup></u>
Edificios	22.2	12.8
Tiendas	22.6	15.1
Escuelas	15.0	9.7

## SISTEMA DE ALUMBRADO FLUORESCENTE DE ARRANQUE RAPIDO MODIFICADO

MANUFACTURERA DE REACTORES, S. A.  
VICENTE GUERRERO # 28 y # 30  
COL. GUADALUPE DEL MORAL  
ZONA INDUSTRIAL IZTAPALAPA  
MEXICO, D. F. 09300  
TEL. 694 10 60 FAX 694 67 66

ING. FIS. ERNESTO J. MENDOZA E.

### - R E S U M E N -

ESTE TRABAJO PONE EN PERSPECTIVA EL AHORRO DE ENERGIA POSIBLE, AL EMPLEAR BALASTROS HIBRIDOS PARA OPERAR LAMPARAS DE ARRANQUE RAPIDO. PRESENTA EN FORMA RESUMIDA ALGUNOS FUNDAMENTOS DE LA OPERACION DE LAMPARAS FLUORESCENTES, ASI COMO DE LOS SISTEMAS DE ARRANQUE RAPIDO MODIFICADO. SE MUESTRAN TAMBIEN RESULTADOS DE OPERACION EN CAMPO, - ASI COMO LOS EFECTOS SOBRE LA VIDA UTIL DE LAS LAMPARAS, TANTO T12 COMO T8

INTRODUCCION:

Este trabajo tiene por objeto describir la operación de sistema lámpara - balastro de arranque rápido modificado. Entendemos por un sistema de arranque rápido modificado, un sistema tal que se desconecte el calentamiento de los cátodos de las lámparas de arranque rápido una vez que estos han alcanzado su temperatura de termo-emisión. Esto trae por consecuencia que disminuye el consumo total del sistema.

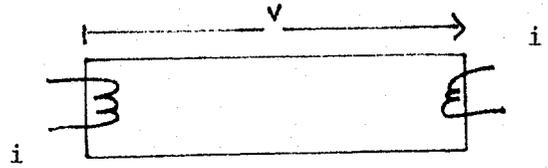
A lo largo de este trabajo pondremos de relieve los niveles de ahorro esperados al operar sistemas de arranque rápido modificado con respecto a el consumo de un sistema tradicional. Haremos énfasis en los puntos siguientes:

- \*PRINCIPIO DE OPERACION
- \*CONSUMO ENERGETICO
- \*EFECTO SOBRE LA VIDA UTIL DE LAS LAMPARAS.
- \*COMPARACION CON CONSUMOS DE SISTEMAS ELECTRONICOS
- \*NUEVA GENERACION DE SISTEMAS DE ARRANQUE RAPIDO MODIFICADO

Para poder acceder a los fundamentos técnicos de los sistemas de arranque rápido modificado es necesario primero recordar los sistemas de arranque rápido tradicional:

Una lámpara de arranque rápido tradicional inicia su operación en base a dos efectos combinados.

- A) EL CALENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE SUS CATODOS HASTA LA TEMPERATURA DE TERMO-EMISION.
- B) LA PRESENCIA DE UN CAMPO ELECTRICO EN EL TUBO DE DESCARGA.

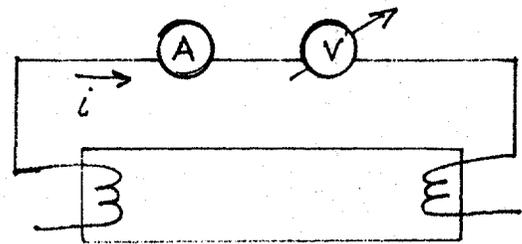


Es importante combinar ambos efectos en forma adecuada a riesgo de: -LA LAMPARA NO ENCIENDE o -LA LAMPARA ENCIENDE TAN VIOLENTAMENTE QUE PIERDE LOS FILAMENTOS PARTE DE SU MATERIAL TERMO-EMISOR (FENOMENO CONOCIDO COMO "SPUTERING")

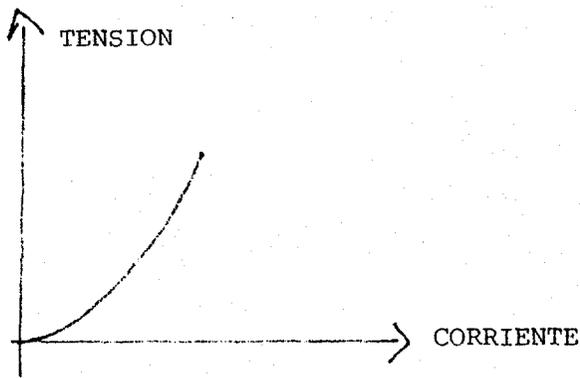
El flujo de corriente a través del tubo de descarga depende fuertemente de la tensión aplicada. -Pensemos primero en una operación sin calentamiento de cátodos: (Arranque instantáneo)-

En general siempre se encuentran algunos electrones libres en el tubo de descarga, provenientes de las ionizaciones -- por rayos cósmicos, efecto foto-eléctrico, etc.

Si aplicamos una pequeña diferencia de potencial a los extremos de la lámpara tendremos una pequeña corriente intermitente.



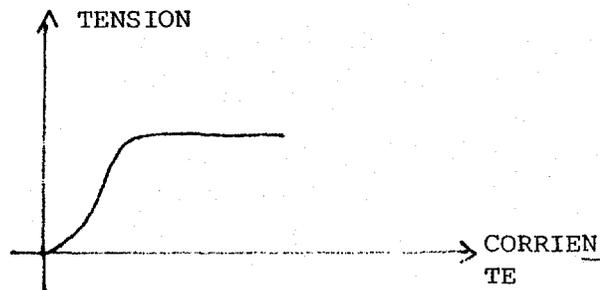
Su valor será función del número de electrones en el tubo de descarga y de la tensión aplicada. En general el valor promedio de esta corriente intermitente aumentará en forma proporcional a la tensión aplicada.



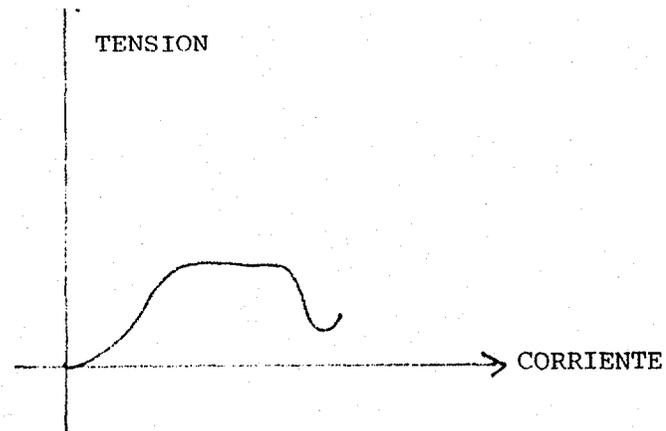
Si seguimos elevando la tensión llegaremos a un punto en el cual la corriente deje de ser intermitente, ya que los electrones acelerados dentro del tubo de descarga se moveran con una energía tal que al impactar con un átomo del gas interior generará por lo menos otro electrón (secundario).

Este estado es en realidad un equilibrio entre varios fenómenos físicos: La probabilidad de impactar un átomo a lo largo de la trayectoria anodo-cátodo, el impacto de iones en el cátodo, la presión del gas, etc.

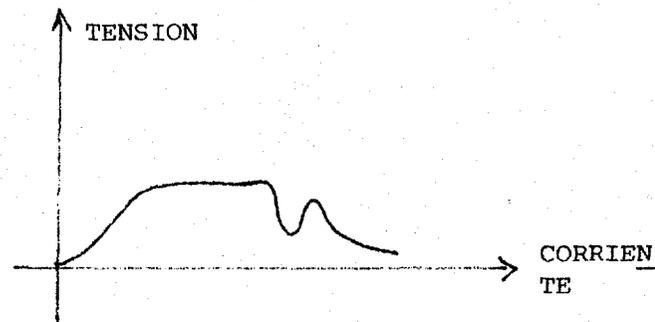
En estas condiciones encontramos que la tensión de lámpara casi no varía para un rango amplio de corrientes.



Si elevamos la corriente aún mas, llegaremos a un punto donde la tensión sufrirá una caída abrupta, causada por la emisión parcial del material termo-emisor del cátodo.



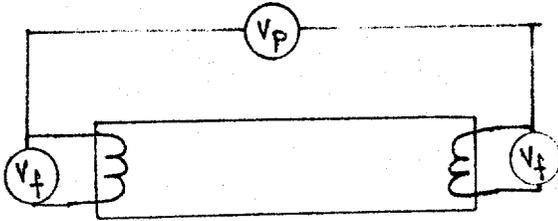
Finalmente si elevamos lo suficiente la corriente, entonces la energía aplicada (tensión de cátodo por corriente de lámpara) será tal que el cátodo alcanzará su temperatura de termo-emisión, generando una gran cantidad de electrones libres. Esto es de forma tal que si no se limitara la corriente de lámpara por medio de un agente externo (balastro), la lámpara se auto destruiría.



Cuando operamos una lámpara en corriente alterna, este proceso se repite cada 1/2 ciclo; cuando han transcurrido varios ciclos, el cátodo se ha calentado lo suficiente como para pasar en forma casi inmediata a su estado final, con muy poca emisión del material del cátodo.

Esta breve descripción nos permite comprender por qué se desgastan las lámparas fluorescentes, así como el por qué se agotan mas pronto en uso intermitente.

-Analicemos ahora la operación de un sistema de arranque rápido.



En este tipo de sistema, se aplica -- una corriente de calentamiento a los filamentos de las lámparas mediante -- las fuentes  $V_t$

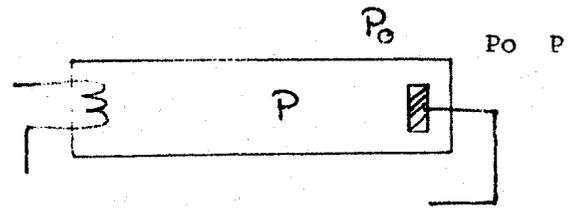
En principio se busca pasar al estado final de operación normal de lámpara, sin emitir parte del material del filamento. Esto no es posible al 100%, pero la operación de los sistemas de arranque rápido permite disminuir el "sputtering" considerablemente.

En valores promedio encontramos que una lámpara de 38W-T12 arranque instantáneo tiene una vida útil de 9000Hrs, mientras que al operar un sistema de arranque rápido 40W-T12 encontramos -- una vida útil de 12000 Hrs.

A lo largo de esta exposición nos proponemos responder : ¿Es necesario -- mantener el calentamiento de cátodos durante toda la operación de la lámpara?

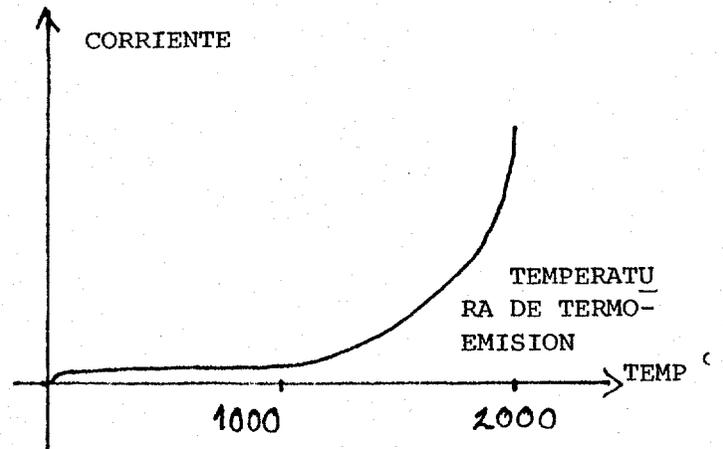
Asomemosnos un poco mas de cerca a -- los sistemas de arranque rápido:

Veamos un nuevo experimento, coloquemos dentro de un tubo de vidrio al vacío un filamento recubierto de un material termo-emisor (Vgr. Oxido de calcio) y frente al filamento una placa metálica que llamaremos "colectora"



Establecemos una pequeña caída de tensión entre el filamento y la placa colectora así como una "tensión" de calentamiento a través del filamento.

Observemos la temperatura del filamento y la corriente a través de la placa -- colectora.



Encontramos una corriente muy pequeña -- hasta que el filamento alcance una cierta temperatura (1000 y 2000°k) A partir de este punto la corriente se incrementará en forma violenta.

De hecho, de este experimento se deriva la relación de Dushman:

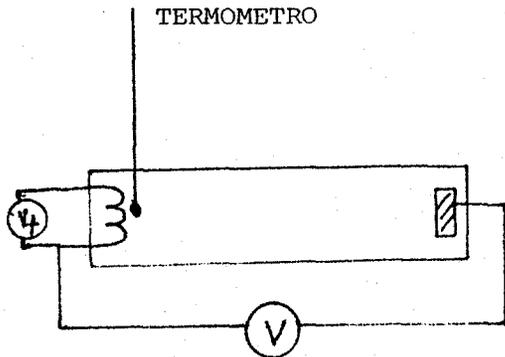
$$J = A_0 T^2 C^{-b} o/t$$

J= DENSIDAD DE CORRIENTE

A0=CONSTANTE (ESPECIFICA POR MATERIAL Y CONSTRUCCION)

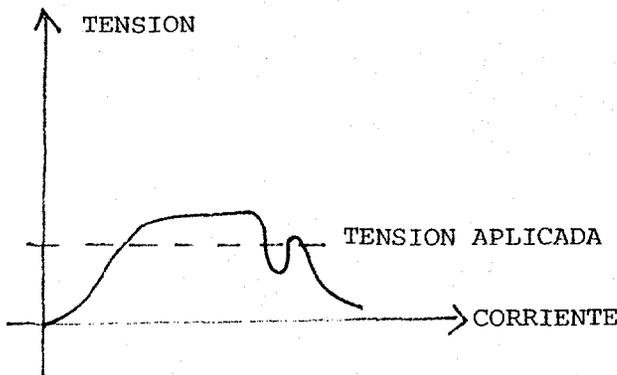
$T$  = TEMPERATURA ABSOLUTA DEL FILAMENTO.

$\phi_0$  = FUNCION TRABAJO DEL MATERIAL



Repetimos nuestro experimento pero a una mayor tensión de filamento a p.l.a. (Aumentemosle unos 200V<sub>oc</sub>)

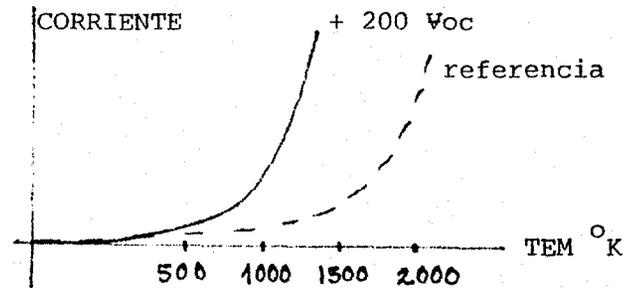
Encontraremos un comportamiento similar, pero la temperatura de termo-emisión será menor, y por tanto se alcanzará más rápidamente.



Es evidente que a mayor tensión más rápidamente (o menor temp. de termo-emisión) encenderá; sin embargo la tensión no se puede elevar "ad-infinitum" sin generar un fenómeno de emisión del material del cátodo o un fenómeno de arranque instantáneo.

En términos generales, a una lámpara de arranque rápido se le aplica una tensión menor a la necesaria para alcanzar el punto de auto-sostenimiento

de corriente, y el flujo de electrones se inicia cuando el filamento alcanza su temperatura de termo-emisión para la tensión aplicada.

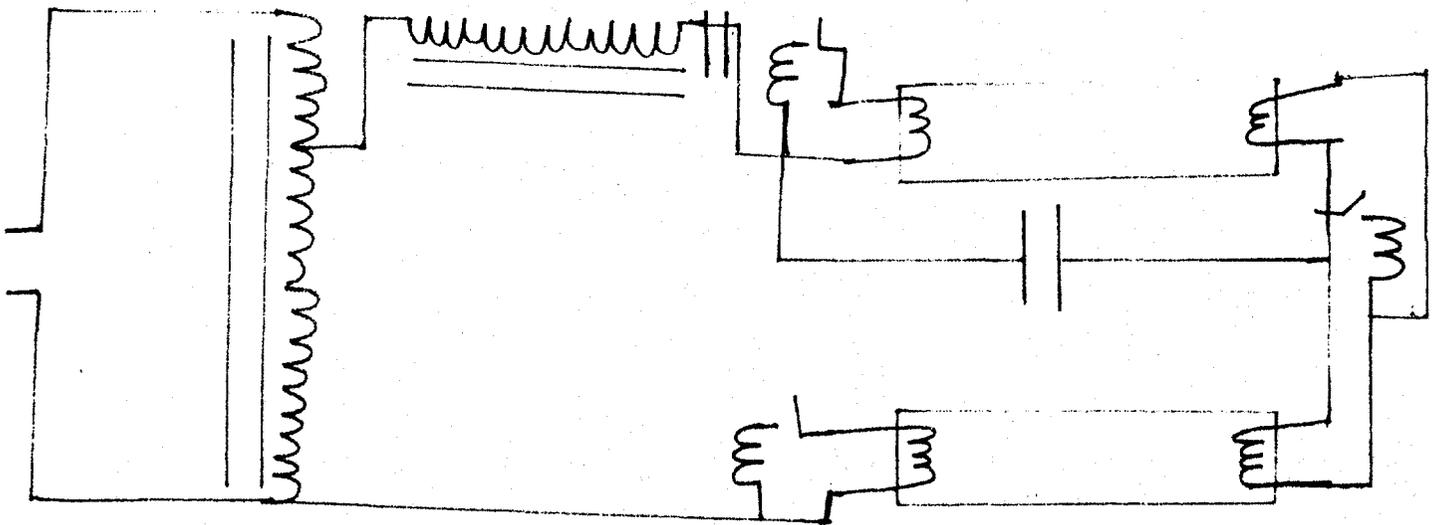


Una vez iniciado el arco eléctrico en el interior de la lámpara, la energía entregada al cátodo es suficiente para mantenerlo a su temperatura de termo-emisión.

La energía entregada al cátodo es igual al producto de la corriente de lámpara por la tensión del cátodo, por supuesto que esta temperatura es función de la corriente de lámpara; por tanto si se desea operar una lámpara fluorescente por debajo de su corriente nominal se deberá de tratar de compensar la pérdida de energía del filamento por disminuir el producto (corriente de lámpara x tensión de lámpara) mediante la aplicación de energía externa a los cátodos.

Esto sitúa a las lámparas de arranque rápido como ideales para "dimeo", pues en las lámparas de arranque instantáneo no tenemos acceso al circuito del cátodo para compensar la temperatura del mismo.

Si aprovechamos la energía liberada en el cátodo por la energía aplicada a él, podemos una vez establecido el arco, desconectar el calentamiento de los cátodos reduciendo de esta forma el consumo de energía del balastro



En el esquema se muestra un balastro para dos lámparas de arranque rápido. El principio de operación es simple: Una vez establecido el arco, se desconectan mediante los interruptores mostrados, los filamentos del circuito de los cátodos de las lámparas.

#### DESARROLLO:

Durante algunos años han estado estos sistemas disponibles en el mercado, a continuación mostraremos algunos cuadros comparativos de la operación de balastos de arranque rápido modificado con arranque rápido tradicional:

	MODIFICADO	TRADICIONAL	MODIFICADO	TRADICIONAL	MODIFICADO	TRADICIONAL
LAMPARAS	20W	T12	40W	T 12	34W	T12
CORRIENTE CONSUMO	0.380	0.46	0.65	0.8	0.605	0.703
POTENCIA CONSUMO	44	53	80	93	73	84
F.P	91.2	91	96.6	91.5	95	94
POTENCIA ARCO	17/17	17/17	36/35	36/36	31/32	31/31
PERDIDAS	10	19	9	21	10	22
F.B.	85	85	91	92.3	98.4	96.8
BEF	1.93	1.60	1.4	0.99	1.35	1.152
FLUJO TOTAL	2,099	2,099	5,618	5,698	5,641	5,549
FLUJO/CONSUMO LINEA	47.7	39.6	70.2	61.3	77.27	66
POTENCIA AHORRADA	9		13		11	
AHORRO %	16.9 %		13.9 %		13.1%	

NOTA: LAS LAMPARAS 20W T12 AQUI MOSTRADAS SON DE ARRANQUE PRECALENTADO, OPERADAS EN UN CIRCUITO "TRIGER"

Existen aun otros enfoques: Para el diseñador de proyectos de iluminación, es evidente que puede lograr dos niveles similares de iluminación al emplear 2 lámparas de 40W T12 con un balastro tradicional ó 2 lámparas 34W T12 con un balastro de arranque rápido modificado. Pero es notoria la diferencia en consumo con los dos sistemas:

	40W T12 TRADICIONAL	34W T12 MODIFICADO
POTENCIA CONSUMO	93	73
F B	92.3	98.4
BEF	0.99	1.35
FLUJO LUMINOSO	5698	5641
FLUJO/CONSUMO LINEA	61.3	77.27
POTENCIA AHORRADA	///	20
AHORRO %	///	21.5%

El flujo luminoso disminuyó 57 lumens (-1.0004 %) !, lo cual es prácticamente igual. Este tipo de solución es útil cuando se desea hacer un proyecto de ahorro de energía conservando la instalación original.

Desde finales de las décadas de los 70'S se introdujeron comercialmente este tipo de circuitos en EUA, a la fecha no hay quejas por una falla temprana masiva de lámparas.

Con la finalidad de preveer los efectos en la vida de las lámparas hemos conducido los siguientes experimentos:

Conectamos un sistema lámpara-balastro para dos lámparas de 40W T12 arran-

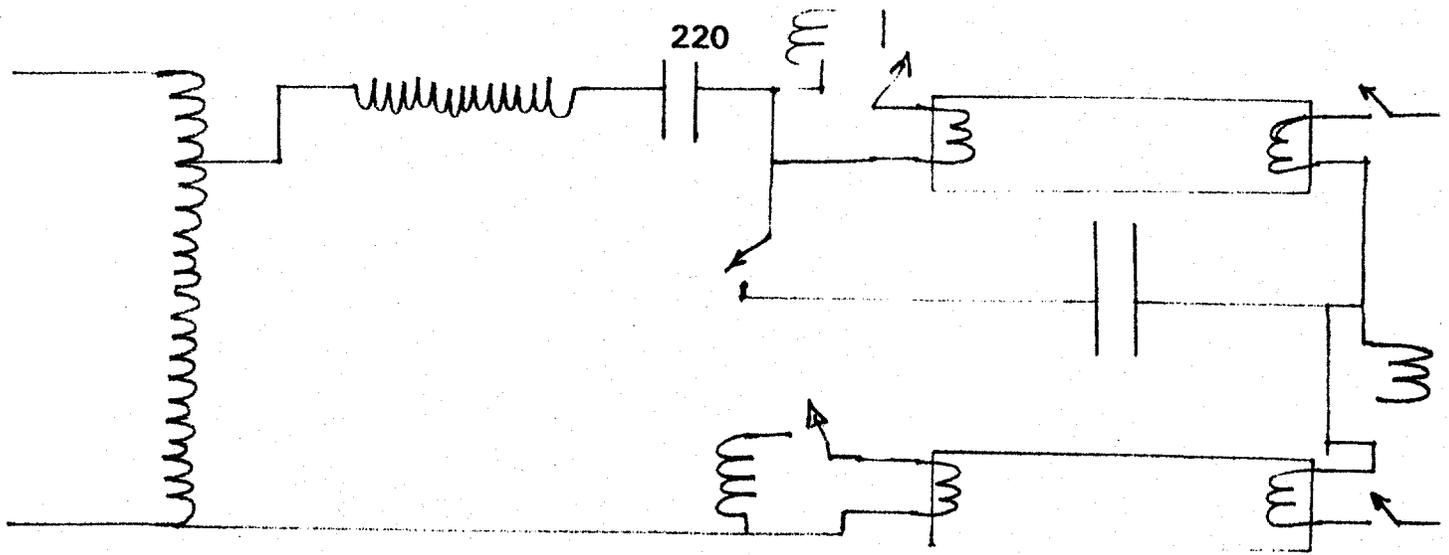
que rápido con un balastro tradicional, de forma que enciende 1.5 min. y apaga 1.5 min. Al mismo tiempo conectamos un sistema lámpara-balastro para 2 lámparas de 34W T12 con un balastro de arranque rápido modificado, de forma similar a ciclos de 1.5 min. encendido y 1.5min apagado, observamos cuantos ciclos se presentan antes de que fallen las lámparas. Esta experiencia se repitió con varios balastros, cada balastro con 3 marcas diferentes de lámparas. Estos experimentos arrojaron:

TIPO DE SISTEMA	NUMERO DE CICLOS PRIMEDIO PARA FALLA DE LAMPARA.
TRADICIONAL	7 600 40W T 12
MODIFICADO	14 700 34W T 12

De esta experiencia no podemos decir -- que la operación con sistemas modificados alarguen la vida útil de las lámparas. Los fabricantes de lámparas indican que la vida esperada para las lámparas de 34W T12 es de 20,000 Hrs., mientras que la vida esperada de las lámparas de 40W T12 es de 12,000 Hrs.

Lo que si podemos decir es que la operación del sistema modificado no disminuye la vida útil de las lámparas.

En los años recientes, debido a sus mejores características, se ha presentado una gran penetración de la nueva generación de lámparas T8. En especial han sido de interes en nuestro país las lámparas de 32W T8 y de 17W T8, junto con esta nueva generación de lámparas ha emergido una nueva generación de balastros de arranque rápido modificado, en la cual se desconectan tanto los filamentos de calentamiento como el capacitor de asistencia para el encendido:



Este tipo de sistema presenta todas las bondades anteriormente descritas y además incrementa ligeramente la vida útil de las lámparas.

A continuación mostramos un cuadro comparativo para este tipo de sistemas, incluimos únicamente como referencia los datos de sistemas electrónicos.

PARAMETRO	40WT12	34WT12	32W T8	32W T8	32W T8	20W T12	17W T8	17W T8	17W T8
#LAMPARAS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SISTEMA	TRADICIONAL	MODIFICADO	TRADICIONAL	MODIFICADO	ELECTRON	TRADICIONAL	TRADICIONAL	MODIFICADO	ELECTRON
POT.CONSUMO	93	73	75	63	61	53	44	39	34
F.B.	92.3	98.4	98	85	95	85	95	95	98
FLUJO TOTAL	5,698	5,641	5,858	5,081	5,679	2,099	2,606	2,606	2,688
FLUJO/CONSUMO	61.3	77.27	78.11	80.65	93.1	47.7	59.2	66.82	79
AHORRO W	///	20	18	30	32	///	9	14	19
AHORRO %	// /	21.5	19.4	32.25	34.4	//	16.9	26.4	35.8

En el cuadro anterior tenemos 3 opciones para operar 2 lámparas de 32W T8 arranque rápido:

-La primera opción es un sistema de arranque rápido tradicional con el mismo factor de balastro que el 40W T12 únicamente se cambia a un sistema 32W T8 ahorrando 19.4% del consumo de energía.

-La segunda opción es un sistema modificado, pero con un factor de balastro menor, como se puede ver de las tablas esto conduce a una salida menor.

-El tercer sistema es un balastro electrónico.

Como podemos apreciar el balastro con FB-85 y el electrónico tienen prácticamente el mismo consumo, pero el electrónico entrega 598 lumens más (+ 11.7 %) que el electromagnético referido.

Así mismo mostramos la comparación entre 20W T12 y 17W T8. En este caso mostramos 3 balastros con alto FB TRADICIONAL, MODIFICADO Y ELECTRONICO.

Indicamos a continuación una tabla de resultados que nos muestra como responden las lámparas al operar en el sistema de arranque rápido modificado de nueva generación:

TIPO DE SISTEMA	NUMERO DE CICLOS PROMEDIO PARA FALLA DE LAMPARA
TRADICIONAL. 40W T12	7 600
MODIFICADO 32W T 8	14 900
MODIFICADO NUEVA GENERACION 32W T 8	26 300

Estos resultados muestran claramente que el empleo de un sistema de arranque modificado de nueva generación incrementa la expectativa de vida útil de las lámparas.

#### CONCLUSIONES:

- Es perfectamente posible operar las lámparas de arranque rápido sin mantener todo el tiempo la energía de los filamentos.
- La operación de lámparas fluorescentes por debajo de sus condiciones nominales es posible si se garantiza el mantener la temperatura de los cátodos de las lámparas.
- La operación de las lámparas de arranque rápido sin el calentamiento de filamentos no reduce la vida útil de las lámparas siempre que el encendido se haga con calentamiento de cátodos.
- La operación de lámparas de arranque rápido en sistemas de arranque rápido modificado aumenta la expectativa de vida útil de las lámparas.
- La operación de sistemas de arranque rápido modificado conduce a ahorros de energía del orden del 20%

## "AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN EDIFICIOS A TRAVES DE LA ELIMINACION DE PROBLEMAS TIPICOS"

ING. ALEX G. RAMIREZ RIVERO  
GENERTEK, S.A. DE C.V.  
CONSULTORES EN INGENIERIA ENERGETICA

El enorme consumo de energía eléctrica en edificios representa una importante área de oportunidad para ahorro. El diseño de instalaciones sin criterios luminotécnicos avanzados, la ausencia de normalización sobre eficiencia energética, la falta de observancia de las normas y recomendaciones vigentes, el continuo crecimiento de carga en instalaciones existentes y la falta de mantenimiento adecuado son algunas de las causas del uso ineficiente de la energía eléctrica en inmuebles. Aunque los problemas y por tanto las soluciones son particulares para cada unidad, algunos de los primeros se repiten frecuentemente. En este trabajo se comentan los problemas encontrados a lo largo de más de 40 auditorías realizadas a inmuebles grandes de diverso tipo en la Ciudad de México.

### I.- INTRODUCCION.

La energía eléctrica es un satisfactor indispensable para el bienestar de la sociedad en su conjunto y un insumo fundamental del proceso productivo.

Sin embargo, la disponibilidad de energía eléctrica requiere de un complejo proceso para formar la cadena GENERACION-DISTRIBUCION-UTILIZACION que implica por un lado la necesidad de grandes inversiones por parte del sector eléctrico para satisfacer una demanda que crece en México a un ritmo de aproximadamente 5% anual y por otro lado representa un enorme consumo de recursos energéticos, la mayor parte de ellos no renovables. El 61% de la generación en nuestro país se realiza por medio de hidrocarburos con el tremendo impacto ambiental tan conocido y padecido por todos.

En 1992 el 56% de la energía eléctrica

consumida en nuestro país se debe a la industria, el 21% al sector doméstico, 16% a comercios y servicios y 7% al sector agrícola. En la distribución por uso final, el 60% corresponde a sistemas de fuerza, 30% a iluminación y el 10% restante a usos varios.

De acuerdo con las tendencias actuales de consumo y con las reservas probadas de hidrocarburos, nuestro país está en riesgo de dejar de ser exportador de estos energéticos en el mediano plazo para convertirse en importador en el largo plazo.

Es evidente que aunque las fuentes alternas para generación de electricidad son numerosas -llamadas también fuentes no convencionales-, no representan individualmente ni en su conjunto, una posibilidad real de apoyar de una manera significativa a los métodos actualmente

usados, al menos en el corto plazo.

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) ha desarrollado un modelo de pronóstico de cogeneración en México. De acuerdo con estimaciones preliminares en tres escenarios se determinó que el potencial total nacional -incluyendo industrias e instalaciones de PEMEX- en el escenario bajo es de 2900 MW, el medio de 4000 MW y el alto de 6000 MW. Sin embargo, existen barreras de tipo técnico, económico y de actitud que generan un alto grado de incertidumbre sobre la pronta y efectiva incorporación de este esquema en nuestro país.

Para hacer frente a esta difícil situación, la alternativa más viable resulta ser sin duda el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. En base a metas al año 1994, estimadas por empresas consultoras especializadas en el ramo y contratadas por el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), se logró establecer una proyección ponderada para el año 2000. Se ha estimado un ahorro de unos 20,500-GWH o sea el equivalente al 21% de las ventas de energía eléctrica para 1992.

Para alcanzar esta meta se requiere del esfuerzo conjunto tanto de Comisión Federal de Electricidad y Compañía de Luz, como de los propios usuarios, en una proporción de 30% y 70% del ahorro esperado, respectivamente.

De acuerdo con numerosas experiencias en inmuebles de diversos tipos, actualmente es factible en México lograr ahorros de energía que fluctúan entre 20% y 50%, dependiendo de las condiciones particulares existentes y de la capacidad de inversión para llevar a

cabo las medidas ó del tiempo de recuperación deseado para dicha inversión. Conservadoramente se puede estimar para este sector un ahorro promedio de 25%, lo que representa un atractivo 4% del gran total nacional.

## II.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN EDIFICIOS.

El consumo de energía eléctrica en un edificio comercial o de oficinas es muy variable, porque depende de numerosos factores, como son:

- **Su localización geográfica.**  
Determina variables climáticas como temperatura, presión atmosférica, grado de insolación, humedad, etc..
- **Su estructura, configuración y materiales de construcción.**
- **Su orientación y las características particulares del medio ambiente en el cual opera** (árboles, edificios contiguos, etc).
- **El equipo instalado** (tipo, cantidad y calidad).
- **Los ocupantes** (número, edad y actividades que desarrollan).
- **Los hábitos de uso** (p.ej. los períodos de ocupación).
- **El mantenimiento.**

La factura eléctrica está formada generalmente por cuatro conceptos: consumo de energía (KWH), demanda (KW), bajo factor de potencia (cuando es menor a 90) y cargos fijos (como mantenimiento). El peso relativo de cada concepto puede variar

dentro de límites muy amplios. Por ejemplo, el cargo por bajo factor de potencia puede llegar a provocar un recargo equivalente de hasta 120% del monto de la facturación, pero en cambio, en caso de alto factor de potencia se puede conseguir una bonificación de 2.5 %.

El costo del KWH depende de la tarifa contratada. Esta a su vez es función de la tensión de suministro y la demanda. Para edificios se tienen generalmente dos casos: cuando la compañía suministradora abastece directamente a tensión de utilización (inmuebles medianos ó pequeños sin subestación) ó cuando el suministro se hace en alta tensión (edificios grandes con subestación propia).

La distribución por uso final en edificios también es variable. Se distinguen 4 grandes tipos de carga: iluminación, aire acondicionado, motores (para elevadores y equipo de bombeo) y cargas múltiples (de contactos principalmente).

Para edificios en localidades con climas extremos el equipo de acondicionamiento ambiental tiene un peso muy importante, que puede ser el mayor en el edificio; iluminación es en este caso el segundo, motores el tercero y contactos el cuarto. En cambio, por ejemplo en escuelas en clima templado y estable durante todo el año no requieren equipo de aire acondicionado y normalmente no tienen elevadores. En este caso la carga por iluminación es totalmente predominante, la carga de contactos (que está formada por cafeteras, máquinas de escribir, computadoras, impresoras, lámparas de escritorio, copiadoras, etc) es el segundo y la carga por motores para bombas el tercero.

## II.1.- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR ILUMINACION.

En base a las experiencias de diagnósticos energéticos en edificios de diversos tipos en la zona metropolitana de la Ciudad de México se han encontrado los siguientes porcentajes promedio: iluminación 50%, aire acondicionado 30%, contactos 12% y motores 8%.

De acuerdo con el objetivo de este artículo, el consumo debido a las cargas de alumbrado es el que comentaremos con más detalle.

Un sistema de iluminación está formado básicamente por 4 elementos: lámpara, balastro, luminario y control. Los sistemas más importantes que podemos aplicar actualmente son: incandescente (que no requiere balastro), fluorescente, vapor de mercurio (VM), vapor de aditivos metálicos (VAM) y vapor de sodio en alta y baja presión (VSAP y VSBP). Las características más relevantes que deben considerarse para cualquier sistema son: vida útil, eficacia, mantenimiento de lúmenes, índice de rendimiento de color (CRI), temperatura de color, tiempo de encendido y reencendido, costo inicial, costo de operación y disponibilidad en el mercado. Desde el punto de vista de ahorro de energía la eficacia es la característica más importante, pero para cualquier aplicación deben considerarse siempre todos los factores en conjunto.

Cada sistema tiene características propias, por lo que la aplicación de cada uno debe ser cuidadosamente estudiada. A continuación se enlistan los problemas eléctricos más comunes encontrados en edificios auditados en México.

### III.- PROBLEMAS DETECTADOS FRECUENTEMENTE EN EDIFICIOS.

Los problemas detectados a lo largo de los diagnósticos eléctricos en edificios son numerosos, pero pueden resumirse en los siguientes:

#### 1) *Transformadores sobredimensionados.*

Esto provoca que se trabaje con bajo factor de potencia y baja eficiencia. El rango óptimo de carga para transformadores es variable, pero generalmente se encuentra entre 70% y 90% de plena carga. Se han encontrado instalaciones con 2 transformadores idénticos trabajando cada uno en promedio a 30% de su carga nominal.

#### 2) *Transformadores permanentemente conectados.*

En ciertas instalaciones el consumo a determinadas horas cae casi a cero, haciendo que el transformador trabaje prácticamente en vacío. En estas condiciones la eficiencia es cero y el factor de potencia es bajísimo.

#### 3) *Tableros con puntos calientes y circuitos compartidos.*

En algunos tableros la falta de mantenimiento provoca malos aprietes que se convierten en puntos calientes y desperdicio de energía. También es común encontrar que la ampacidad de los cables y la corriente nominal de los interruptores no concuerda, provocando altas temperaturas generadoras de mayores pérdidas y reducción de vida de aislamientos. Otro problema es encontrar circuitos compartidos para sistemas de fuerza y alumbrado. Esto dificulta ó imposibilita incluso el control y el monitoreo de parámetros relevantes para auditoría y control de energía.

4) *Sistema de tierras defectuoso.* Un sistema de tierras defectuoso acarrea muchos problemas, incluyendo los de seguridad y eficiencia. Interfiere en el funcionamiento correcto del equipo de protección, en el encendido confiable de lámparas fluorescentes, en los equipos de cómputo y en los dispositivos de estado sólido en general (como balastos electrónicos y sensores de presencia, por ejemplo).

#### 5) *Factor de Potencia.*

Aunque los sistemas de iluminación generalmente no producen bajo f.p., la instalación en conjunto sí puede padecerlo. La corrección de f.p. es una de las inversiones más rentables. Sin embargo es común encontrar edificios que llevan meses pagando multas por bajo factor porque no existe monitoreo por parte del personal de mantenimiento ó por la falta de comunicación entre el departamento de contabilidad y el de mantenimiento.

#### 6) *Seccionamiento deficiente de circuitos.*

Es común encontrar áreas muy grandes con un número muy reducido de circuitos. Esto provoca una falta de control sobre la iluminación de áreas específicas, con el consiguiente desperdicio de energía.

#### 7) *Regulación de tensión.*

Las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. Legalmente, en México la regulación puede variar  $\pm 10\%$  con respecto a la nominal, pero no es extraño encontrar variaciones de 12% y hasta 15% en algunos casos. En lámparas incandescentes, un aumento de 10% en la tensión provoca incremento de 21% en el consumo y 70% de reducción de vida. Para sistemas de H.I.D. el efecto no es tan drástico, pero no deja de ser importante. En sistemas fluorescentes la

misma variación representa en promedio 12% de incremento en la potencia de línea y para H.I.D. se tiene un porcentaje que depende del circuito del balastro, pero fluctúa entre 5% y 18%.

Los balastos también se ven afectados por el aumento de tensión. Para balastos fluorescentes, por cada volt la temperatura en la caja del balastro aumenta  $0.8^{\circ}\text{C}$  y con cada  $^{\circ}\text{C}$  las pérdidas crecen 0.5%, es decir cada volt hace que las pérdidas aumenten aproximadamente 0.4%. El factor de potencia también se ve afectado: 10% de incremento causa que un balastro con alto factor de potencia (91%-100%) caiga a menos del 90% establecido por norma, con los consiguientes perjuicios en todo el circuito

**8) Balastos de Baja Eficiencia.** Por una errónea política de compra por parte de contratistas y usuarios basada exclusivamente en el precio, el mercado nacional se encuentra inundado por balastos fluorescentes de altas pérdidas, mal llamados de baja energía. Estos balastos representan 80% del mercado nacional y tienen un Factor de Eficacia de Balastro (BEF) 12% menor que los balastos normales, 27% menor que los electromagnéticos ahorradores y 42% menor que los electrónicos, además de que no cumplen con el Factor de Balastro (BF). Aún en condiciones óptimas trabajan a las temperaturas máximas permitidas por norma, con la consiguiente disminución de vida y eficiencia. Pueden representar además un peligro para usuarios e instalaciones porque no cuentan con termoprotector integrado.

**9) Incompatibilidad de equipos.** El uso de lámparas ahorradoras con balastos normales provoca sobrecalentamiento en el

balastro y reducción de vida de la lámpara. El uso de balastos de altas pérdidas ó línea económica con lámparas ahorradoras causa además una fuerte incertidumbre en el arranque. La adición de dispositivos que se intercalan en el circuito del balastro económico para limitar la corriente en la lámpara ahorradora es la peor combinación posible.

**10) Balastos Ociosos.** Cuando el mantenimiento es pobre, las lámparas quemadas no son sustituidas en corto tiempo. No hay entonces producción de luz pero sí consumo de energía. El balastro permanece conectado a la red tomando su potencia nominal de circuito abierto ( $W_0$ ). De acuerdo con el tipo y potencia del balastro  $W_0$  puede tomar entre 6 y 12 watts.

**11) Sistemas fluorescentes encendido instantáneo (Slimline).** Los sistemas fluorescentes de encendido instantáneo (slimline ó EI) presentan claras desventajas si se les compara con los de encendido rápido (bipin ó ER). Comparándolos sobre la misma base, los balastos EI son 25% más caros, 37% más pesados, 65% más voluminosos y 23% menos eficientes. La lámpara de EI vive 55% menos y su eficacia es hasta 15% menor que la de ER. Por otro lado EI no puede ser controlado por equipos de control de potencia (balastos electrónicos dimmeables) y además producen más ruido que los otros tipos. A pesar de esto, EI se ha preferido en parte porque las bases para lámparas de ER nacionales son, salvo algunas excepciones, de mala calidad. Esto produce incertidumbre en el arranque y reducción de vida de la lámpara.

**12) Acabado de las lámparas fluorescentes.** La eficacia de las lámparas depende entre otras cosas, del color. Desde

el punto de vista energético se deben preferir los acabados de mayor eficacia pero siempre se deben respetar las recomendaciones que relacionan la tarea visual con la iluminancia y la temperatura de color.

**13) Mezcla de lámparas con diferente temperatura de color.** A causa de los problemas de disponibilidad en el mercado, de stock y a veces de falta de cuidado por parte del personal de mantenimiento, es común encontrar áreas con lámparas fluorescentes de dos y hasta tres temperaturas de color diferentes. Además del aspecto estético, la estimación de las reflectancias para proyecto ó auditoría se complica ya que ésta depende del color y acabado de la superficie, pero también de la temperatura de color de la fuente utilizada.

**14) Uso y abuso de lámparas incandescentes.** Aunque generalmente no representa el mayor porcentaje de carga, es común encontrar corredores, salas de espera y áreas comunes de oficinas con altos valores de iluminancia a base de lámparas incandescentes A19 ó tipo PAR convencionales. Estas lámparas pueden ser sustituidas por compacto-fluorescentes para iluminación general a baja altura de montaje ó por lámparas de H.I.D. de baja potencia para alturas medias y por lámparas incandescentes de bajo voltaje para iluminación de acento, lo que permite grandes ahorros de energía y fuerte disminución de carga térmica. Cada KW de luminario requiere 3,412 BTU de aire acondicionado (a/c). Como una tonelada de a/c equivale a 12,000 BTU, cada 3.5 KW de luminario evitado ahorra una tonelada de a/c.

**15) Luminarios ineficientes.** Debido a la obsolescencia de algunas normas nacionales

y a la falta de observancia de las normas vigentes, existe una enorme diversidad de luminarios para lámparas fluorescentes que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad. Los principales problemas detectados son: mal ensamblaje, pintura de mala calidad (baja reflectancia, reducido espesor y mala adherencia), dimensiones irregulares, difusores de material rápidamente degradable por la radiación ultravioleta (UV), lámina de menor calibre al requerido, diseño óptico ineficiente e información fotométrica casi siempre inexistente. El espesor de la lámina es determinante para que la rigidez del luminario evite amplificar el ruido producido por el balastro y para que se asegure un buen contacto entre los portalámparas y las bases. Si no existe información fotométrica completa y confiable, es imposible garantizar el nivel de iluminancia, las relaciones de uniformidad, el índice de probabilidad de confort visual (IPCV), el factor de eficacia de luminario (FEF) y mucho menos la eficiencia.

#### **16) Instalación defectuosa de luminarios.**

La instalación defectuosa contribuye a producir ruido, incertidumbre en el arranque y calentamiento anormal de lámparas y balastos. Luminarios mal instalados tienden a amplificar el ruido producido normalmente por el balastro. La falta de aterrizamiento interfiere en el encendido de las lámparas de encendido rápido. Un luminario con diseño térmico defectuoso ó con montaje que no permita un buen enfriamiento, provoca que el balastro trabaje a temperatura mayor con el aumento de pérdidas ya comentado, haciendo que las lámparas reduzcan su eficacia al rebasar su punto de óptima temperatura de trabajo

**17) Mantenimiento.** La falta de un buen mantenimiento es común en edificios. Un sistema de iluminación que no recibe mantenimiento adecuado, puede reducir su eficiencia hasta en un 40%. Se debe efectuar revisión eléctrica y limpieza periódica a todos los componentes, especialmente al reflector, al controlente y a la lámpara. Se deben detectar las lámparas en falla sobre todo en circuitos de EI, ya que la operación de un balastro para dos lámparas con sólo una de ellas produce un sobrecalentamiento excesivo en la bobina tickler (secundario auxiliar), afectando notablemente la vida y las pérdidas.

**18) Niveles de iluminancia.** La Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) ha establecido las iluminancias recomendables de acuerdo con la tarea visual a realizar y la edad de los ocupantes, actualizándolas constantemente. Por su parte, la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación (SMII) adecuó esos niveles a las condiciones en nuestro país hace unas tres décadas, pero no se han tenido revisiones recientes. Es común encontrar áreas sobreiluminadas para ciertas aplicaciones (como unidades con VDT's), aunque lo más frecuente es encontrar niveles bajos en escuelas y oficinas.

**19) Bajo aprovechamiento de luz natural.** A pesar de que en muchas instalaciones como edificios y comercios la aportación de luz natural es excelente, la falta de controles manuales o automáticos evita un óptimo aprovechamiento de este recurso. Mediante el control se pueden apagar durante ciertas horas del día las lámparas que estén colocadas cerca de las ventanas o bajo domos o láminas translúcidas.

**20) Densidades de Carga.** La normalización internacional -sobre todo la de países avanzados como E.E.U.U.- ha desarrollado normas en el sentido de limitar la carga instalada por unidad de cada área tipo por concepto de iluminación. Esta densidad está íntimamente ligada con la iluminancia, de modo que sólo es posible cumplir con ambas haciendo un buen uso de la energía eléctrica. Por ejemplo, la densidad actual para áreas generales de oficinas es de  $1.7 \text{ w/pe}^2$  ó  $18.29 \text{ w/m}^2$ . En los edificios estudiados, la densidad está algunas veces excedida a pesar de que los niveles son inferiores a los recomendados.

#### IV.- ALTERNATIVAS PARA AHORRO DE ENERGIA EN ILUMINACION.

Con el explosivo avance tecnológico en los equipos de iluminación y la ya inminente entrada del Tratado de Libre Comercio, actualmente se dispone de una cantidad tal de productos, marcas y precios que es fácil ahogarse en un mar de alternativas.

En general, puede decirse que todas las alternativas caben en dos grandes categorías: una a través del **HARDWARE** y otra mediante el **SOFTWARE**. El hardware lo constituyen los equipos en sí y el software se refiere a la filosofía de operación de dichos equipos.

La selección del equipo requiere necesariamente de la consideración de criterios tanto energéticos como luminotécnicos, siendo los segundos generalmente los más ignorados. A continuación enlistaremos simplemente las principales alternativas para ahorro de energía en cuanto a equipo:

- \* *Incandescentes mejoradas*
- \* *Fluorescentes compactas*
- \* *Fluorescentes ahorradoras*
- \* *Lámparas de H.I.D. optimizadas*
- \* *Balastros ahorradores*
- \* *Balastros electrónicos*
- \* *Aditamentos ahorradores*
- \* *Luminarios parabólicos*
- \* *Reflectores especulares*
- \* *Sensores de presencia*
- \* *Sensores de luz natural*
- \* *Temporizadores*
- \* *Controles centralizados*

Los posibles ahorros en términos económicos ó de energía que se esperan obtener a través del cambio de equipo se calculan fácilmente en función de la variación de densidades de carga, la tarifa contratada y las horas de operación en un período determinado.

Existen acciones adicionales, entre las que se encuentran las siguientes:

- \* *Optimización de luz natural*
- \* *Adecuación de Iluminancias*
- \* *Apego a densidades de carga*
- \* *Revaloración de reflectancias*
- \* *Mantenimiento*

En cuanto a la aplicación del software, se requiere de un cuidadoso análisis para determinar la filosofía de operación del hardware. Se tienen dos estrategias fundamentales: si el edificio tiene un factor de ocupación (FO) alto el uso de equipo ahorrador tiene más peso; si el FO es bajo tiene más justificación el control automático.

Las soluciones prácticas generalmente involucran a las dos estrategias pero el peso de cada una depende de cada caso en particular. Establecer los ahorros potenciales a partir del control ya sea localizado

ó centralizado es una cuestión más compleja. En base a la experiencia se pueden establecer "reglas de dedo" ó bien se puede recurrir a auxiliares para determinar dichos ahorros de energía y establecer así la factibilidad de su aplicación, como el que proponemos a continuación:

$$APE (\%) = 100 \left[ 1 - \frac{[FO (1 - FALN)]}{FULA} \right]$$

donde:

APE = Ahorro potencial de energía (en por ciento)

FO = Factor de Ocupación

FALN = Factor de aportación de luz natural

FULA = Factor de utilización de luz artificial

Las variables anteriores se determinan como sigue:

$$FO = \frac{A_o h_o}{A_t h_t}$$

$$\left[ \begin{array}{l} 0 < FO < 1 \text{ (Teórico)} \\ 0.4 < FO < 0.7 \text{ (Típico)} \end{array} \right]$$

siendo:

A<sub>o</sub> = Área efectivamente ocupada

h<sub>o</sub> = horas de ocupación de A<sub>o</sub>

A<sub>t</sub> = Área total ocupable

h<sub>t</sub> = Tiempo total ocupable para A<sub>t</sub>

$$FALN = \frac{IPLN}{IPR} = \frac{E}{n (IPR)}$$

$$\left[ \begin{array}{l} 0 < FALN < 1 \text{ (Teórico)} \\ 0 < FALN < 0.5 \text{ (Típico)} \end{array} \right]$$

siendo:

IPLN = Iluminancia promedio con luz natural exclusivamente

IPR = Iluminancia promedio requerida

E = Sumatoria de los valores de iluminancia horaria considerados

n = Número de lecturas de iluminancia horaria consideradas.

$$FULA = \frac{HULA}{HHT}$$

$$\left[ \begin{array}{l} 0 < FULA < 2 \text{ (Teórico)} \\ 0.8 < FULA < 1.5 \text{ (Típico)} \end{array} \right]$$

HULA = Horas de utilización de luz artificial (= 0)

HHT = Horas hábiles totales

En base a las posibles combinaciones de hardware y software, se establecen las alternativas más viables en número razonable. La selección implica primero el análisis técnico para desechar aquellas que no cumplan. A partir de las que sí cumplan técnicamente se realiza el análisis económico, obteniéndose los índices financieros comúnmente requeridos.

## CONCLUSIONES.

Las acciones para ahorrar energía eléctrica en edificios se justifican plenamente a través de los beneficios recibidos por el usuario, la compañía suministradora y el país en conjunto.

El ahorro potencial por concepto de iluminación es en general muy grande. Sin embargo, debe tenerse especial cuidado al emprender acciones para ahorrar energía en iluminación. Debe entenderse que, de acuerdo con la filosofía de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía, se puede considerar ahorro *exclusivamente* aquella disminución en el consumo que no disminuya la calidad de vida del usuario.

Para determinar la calidad de vida ó de las actividades por concepto de iluminación se requiere de un cuidadoso análisis de las condiciones existentes, de las recomendadas institucional y normativamente y de las propuestas para ahorrar energía. Esto implica la aplicación de conceptos y criterios especializados en luminotecnia. El equipo y los métodos de medición en campo y en laboratorio deben ser también los aprobados por la normatividad nacional e internacional, con el objeto de que las lecturas obtenidas sean confiables y reproducibles. Es un error frecuente entre usuarios, proyectistas e incluso algunos consultores pensar que los estudios en sistemas de iluminación son triviales.

Para resolver problemas energéticos en luminotecnia existen varias alternativas. Una de ellas es recurrir a las compañías suministradoras. Aunque generalmente el personal especializado en el área de ahorro de energía no conoce a fondo el mercado de iluminación, sí puede proporcionar una

magnífica asesoría en el sentido de detectar las áreas de mayor oportunidad de ahorro y contactar al usuario con los especialistas en este campo.

Una segunda alternativa es recurrir a los fabricantes de equipo de iluminación. En México existen productos de la más alta calidad, pero desafortunadamente no son la mayoría. Un inconveniente que se corre al asesorarse exclusivamente por un fabricante es que en muchas ocasiones exageran las cualidades de sus productos y además tratan de adecuar las necesidades a sus equipos, en lugar de hacerlo a la inversa.

Una tercera alternativa es asesorarse directamente por un experto, pero se debe tener precaución al hacer la elección. Los programas de ahorro de energía están empezando a ser buen negocio en México, por lo que han surgido repentinamente una gran cantidad de profesionistas que ofrecen sus servicios para realizar diagnósticos energéticos. Para evitar en lo posible estos problemas, la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE) está preparando una serie de cursos y exámenes para certificar la preparación y experiencia de los interesados. Mientras este proceso se lleva a cabo sería prudente por parte del usuario solicitarle al consultor información comprobable sobre sus experiencias en este campo.

Una alternativa más es asesorarse directamente por una empresa consultora. La Cámara Nacional de Empresas de Consultoría (CNEC) aglutina a empresas con reconocida experiencia. También en este caso es prudente que el usuario solicite información que avale la experiencia de varias empresas, de modo que su elección sea la mejor.

En suma, la situación para nuestro país en materia de energía eléctrica es difícil pero no crítica; las condiciones para ahorrar energía están dadas a través de voluntad política gubernamental, de instituciones que otorgan financiamiento blando e incluso a fondo perdido, de la disponibilidad buenos equipos nacionales e importados, de recursos humanos capacitados y de usuarios cada día mas conscientes y motivados.

\*\*\*\*\*

AGRR/XI-1993

## ALUMBRADO HID "DIMEABLE"

MANUFACTURERA DE REACTORES, S. A.

ING. FÍS. ERNESTO J. MENDOZA E.

## - R E S U M E N -

ESTE TRABAJO PONE AL LECTOR EN CONTACTO CON ALGUNOS FUNDAMENTOS DE LA OPERACIÓN DE LAS LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA ( H I D ). SE ENCUENTRA CON DEFINICIONES ÚTILES, ASÍ COMO EL ESTUDIO DE LA OPERACIÓN DE LAS LÁMPARAS DE SODIO EN ALTA PRESIÓN Y DE ADITIVOS METÁLICOS OPERANDO A UNA POTENCIA MENOR QUE LA NOMINAL.

## - N O T A -

CON EL FIN DE PREVENIR CONFUSIONES, ALGUNOS TERMINOS NO SE HAN TRADUCIDO DEL INGLES. (POR EJEMPLO NO TRADUJIMOS GLOW)

INTRODUCCION:

El trabajo aquí desarrollado es un - esfuerzo para analizar la operación de lámparas de alta intensidad de -- descarga fuera de sus condiciones nominales. En general por niveles inferiores, abriendo así la posibilidad - de un uso racional de la energía eléctrica mediante la operación a menor - potencia de los sistemas de alumbrado. A lo largo de este trabajo nos respon- deremos preguntas como estas:

¿Cómo se afecta la operación de una - lámpara de alta intensidad de descar- ga cuando se opera a una potencia me- nor que su potencia nominal?

¿De que parámetros eléctricos depen- den factores como: vida útil de la - lámpara, temperatura de color de la lámpara, el mantenimiento óptimo del flujo luminoso, etc. ?

¿Qué posibilidades se abren bajo -- esta operación para el ahorro de -- energía?

DESARROLLO:

Para poder sustentar adecuadamente - el análisis que vamos a desarrollar aquí, recordaremos brevemente los principios de operación de una lám- para de descarga. Nos referiremos fun- damentalmente a las lámparas de aditi- vos metálicos y a las lámparas de so- dio en alta presión.

Pongamos nuestra atención en los fe- nómenos que ocurren al operar una - lámpara de descarga; en general los podemos dividir en dos:

- A) Ignición
- B) Estabilización

En la ignición nos enfocaremos a las etapas que ocurren de el primer momen- to en el cual se energiza el sistema a que se alcanza la descarga de arco.

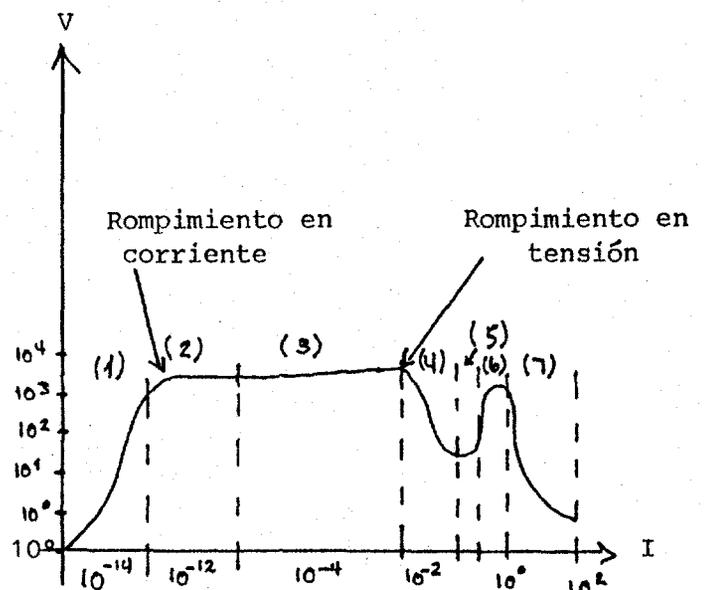
Cuando analizamos la estabilización - profundizamos en las condiciones electri- cas de una lámpara en operación nominal

Es para todos conocido que las lámparas de alta intensidad de descarga requieren de un balastro para su operación. En ge- neral nos referimos al sistema balastro lámpara en este trabajo:

## A) Ignición

Una vez que el sistema balastro lámpara se energiza se presentan varios fenóme- nos electricos dentro del tubo de des- carga:

- 1.- DESCARGA GEIGER.
- 2.- DESCARGA TOWNSEND
- 3.- DESCARGA DE CORRIENTE AUTO-SOSTENIDA
- 4.- DESCARGA "GLOW" SUB-NORMAL
- 5.- DESCARGA "GLOW" NORMAL
- 6.- DESCARGA "GLOW" ANORMAL
- 7.- DESCARGA DE ARCO.



GRAFICA 1

Para visualizar mejor lo que ocurre durante la ignición, pensemos en un experimento que consiste en presentar dos placas paralelas, entre las cuales ocurre la descarga eléctrica.

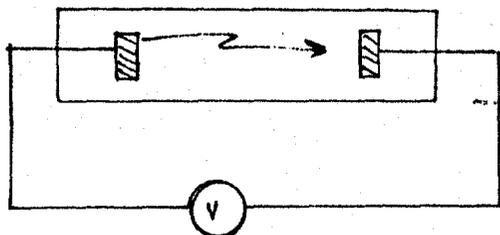


FIGURA 1

La descripción de tal experimento en términos de una curva (v) tensión - (I) corriente, se muestra en la gráfica 1

#### 1) DESCARGA GEIGER

A una tensión mínima fluye una corriente muy pequeña, es una corriente intermitente que fluye entre las dos placas. Las cargas portadoras de esta corriente son generadas por la ionización aliatoria del gas originada por efecto fotoelectrico y/o el impacto de rayos cósmicos. Para elevar el valor promedio de esta corriente, la tensión entre las placas se debe de elevar.

#### 2) DESCARGA TOWNSEND

La corriente promedio se ha venido incrementando fuertemente para pequeños incrementos de la tensión, es aun intermitente, al alcanzar un cierto valor de corriente promedio la descarga se vuelve auto-sostenida.

#### 3) DESCARGA DE CORRIENTE AUTO-SOSTENIDA.

Ahora cada electrón primario genera --

por lo menos un sucesor, además generan nuevos electrones libres por otros mecanismos, por ejemplo por el impacto de iones en las placas etc.

La descarga ya no es intermitente; la tensión cambia muy ligeramente a pesar de aumentos comparativamente grandes de corriente.

#### 4) DESCARGA "GLOW" SUB-NORMAL.

La condición anterior se sostiene hasta que se alcanza un valor de corriente -- tal que se presenta el rompimiento en tensión.

En este punto se presenta una fuerte -- caída de tensión.

#### 5) DESCARGA "GLOW" NORMAL

Después de la caída de tensión anterior se presenta una tensión relativamente -- constante para un rango menor de corriente.

#### 6) DESCARGA "GLOW" ANORMAL.

La corriente se puede incrementar hasta un punto donde la tensión se eleva nuevamente.

#### 7) DESCARGA DE ARCO.

Si el cátodo es elevado a la temperatura de termo-emisión, entonces se pasa -- de la descarga anterior a la "DESCARGA DE ARCO", característicamente a una tensión menor.

En la condición de descarga de arco, se presenta la zona característica de resistencia negativa para las lámparas de descarga.

Es evidente que la operación de una lámpara de descarga no es exactamente modelada por el experimento de placas paralelas, sin embargo es una aproximación útil para comprender algunos de los principios de operación de las lámparas de alta intensidad de descarga.

Nuestro propósito aquí no es generar un

modelo exacto para las lámparas de alta intensidad de descarga, pero si el fundamental, al menos en forma descriptiva las afirmaciones que se pretendan sostener.

En esta línea debemos de profundizar un poco mas en la etapa inicial de la descarga.

Podemos intuir que los rompimientos tanto en corriente como en tensión son fenómenos críticos en la operación de una lámpara de descarga. Nos referiremos al proceso que va del rompimiento en corriente a el rompimiento en tensión como simplemente "ROMPIMIENTO"

En el caso de las lámparas de sodio en alta presión y en las lámparas de aditivos metálicos (compactas) operadas con ignitor podemos encontrar dos mecanismos para el rompimiento en corriente:

- TOWNSEND
- POR "CHORRO" DE CORRIENTE.

El fenómeno de rompimiento en corriente se puede entender en forma simplista como el paso de un estado de corriente intermitente a un estado de corriente estable.

#### MECANISMO TOWNSEND

Este mecanismo opera cuando el campo de la carga espacial al frente de la avalancha de electrones es muy pequeño como para distorsionar el campo aplicado.

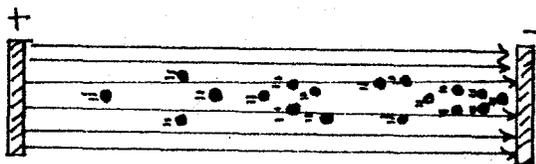


FIGURA 2

Esta primera avalancha causa otra serie de avalanchas sucesivas hasta que el rompimiento ocurre. Los electrones secundarios son liberados o por impacto de los iones o por efecto fotoeléctrico

En el caso de los electrodos paralelos, entre los cuales se encuentra un campo eléctrico homogéneo, cada electrón primario produce:

$$n = ( \exp (xl) - 1 )$$

n-iones en su cambio hacia el ánodo

x: La probabilidad por unidad de longitud de trayectoria (en la dirección del campo eléctrico), de que se produzca un ion.

l: La distancia efectiva para la ionización

En esta condición, el rompimiento en corriente por efecto TOWNSEND ocurrirá si

$$F_i ( \exp (xl) - 1 ) = 1$$

$F_i$ : coeficiente de emisión de un electrón secundario por bombardeo de iones.

El coeficiente de ionización de TOWNSEND (x) es fuertemente dependiente de la intensidad de campo eléctrico y se puede describir por:

$$\frac{x}{P_0} = A \exp (- B P_0/E)$$

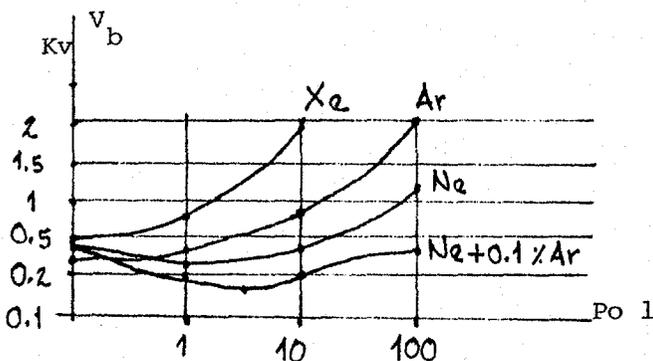
$P_0$  = Presión del gas a  $T = 273^\circ K$   
 $E$  = La intensidad de campo eléctrico  
 $A, B$ , son constantes características del gas.

Combinando la condición para la descarga auto-sostenida, con la expresión para el coeficiente de ionización de TOWNSEND podemos obtener una expresión para la tensión de rompimiento en corriente  $V_b$

(en particular para un campo eléctrico homogéneo libre de carga:

$$V_b = E l = \frac{B P o l}{\ln \left[ \frac{A P o l}{\ln \left( 1 + \frac{1}{F_i} \right)} \right]}$$

Una expresión útil para la tensión de rompimiento en corriente es un gráfico de Paschen, el cual muestra la tensión de rompimiento en corriente con respecto al producto  $P o l$ .



GRAFICA 2

(Pa m)

Los resultados mostrados en la gráfica 2 son una buena aproximación al modelo que venimos desarrollando si consideramos que  $F_i$  no depende del producto  $P o l$ . En general es de interés saber el valor mínimo al cual se presenta el rompimiento en tensión, minimizando nuestra expresión para  $P o l$ ,

$$(P o l)_{\min} = \frac{2.72}{A} L / n \left( 1 + \frac{1}{F_i} \right)$$

De la gráfica 2 notamos que la mezcla  $Ne + 0.1 \% Ar$ , de las opciones analizadas, es por mucho la que presenta la tensión de rompimiento en

corriente menor. Tal tipo de mezcla recibe el nombre de mezcla Penning.

En forma simple podemos decir que los átomos de argón son excitados hasta un estado metaestable, en este estado, son capaces de ayudar a la excitación de los átomos de Neon. La mayoría de las lámparas de sodio en alta presión comerciales, utilizan Xenon como gas de ayuda al encendido.

Como se ve en la gráfica 2 esto trae como consecuencia una tensión de rompimiento en corriente mayor, pero por otro lado previene un fenómeno de "sputtering" prolongado, y debido a su menor conductividad térmica, asegura una mayor eficacia.

#### MECANISMO POR CHORRO DE CORRIENTE.

Si la presión del gas en el tubo de descarga es grande, y la amplitud de la tensión de ignición excede fuertemente la tensión de rompimiento, entonces se presenta el mecanismo de rompimiento por chorro de corriente.

En este mecanismo un canal de alta conductividad se genera rápidamente entre los electrodos al tiempo que se presenta la primera avalancha. Este mecanismo se basa en el reforzamiento del campo eléctrico local por la presencia de zonas de carga espacial al frente de la avalancha, en general se asume que el mecanismo de chorro de corriente se dispara cuando la intensidad de campo local es igual a la intensidad de campo aplicado.

El mecanismo de rompimiento en corriente explica entre otras cosas el canal de conducción que se observa al energizar el conjunto lámpara balastro.

Para completar el "rompimiento" se debe de presentar el rompimiento en tensión. Este rompimiento en tensión se presentará después del rompimiento de corriente siempre que se encuentre disponible la corriente necesaria.

Revazando el rompimiento en corriente entramos a la descarga "glow". El poder acceder a la descarga de arco dependerá de la energía adquirida -- por el cátodo de la lámpara.

El cátodo deberá de alcanzar y sostener la temperatura de termo-emisión.

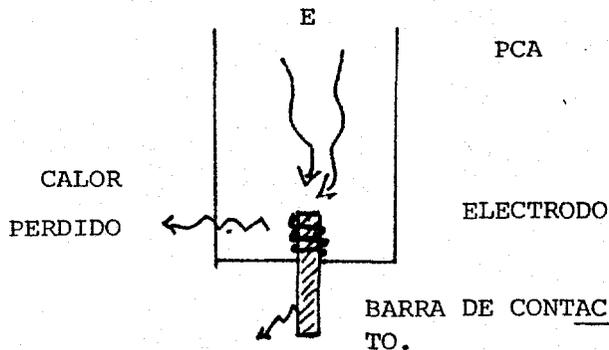


FIGURA 3

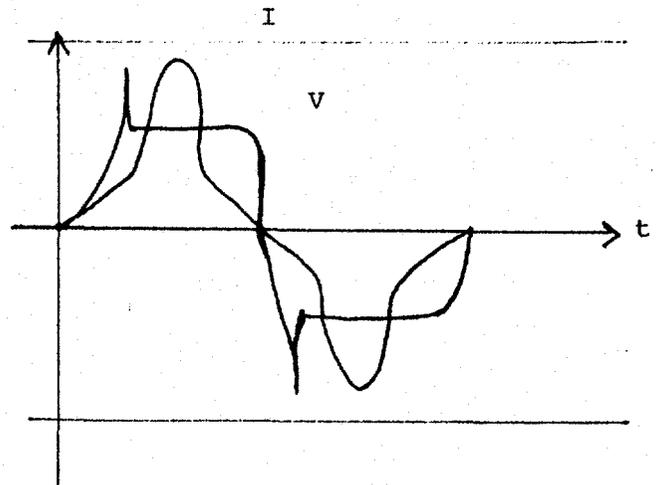
La energía drenada fuera del cátodo esta determinada por la conducción -- de calor en el material del cátodo , el calor especifico asi como su masa y su densidad.

La energía aplicada al cátodo es el producto de la corriente de lámpara por la caída de tensión en el cátodo

#### B) ESTABILIZACION

Hasta este punto, hemos enfocado -- nuestra atención en el proceso de ignición, analicemos ahora la operación estable de la lámpara.

Una vez iniciada la operación de la lámpara esta se encenderá y apagará cada medio ciclo. Es decir la lámpara tendrá que romper y pasar de arco glow a arco de descarga cada medio -- ciclo. Intuimos que esta transición periodica define poderosamente la -- vida de la lámpara. El estudio de -- esta transición la denominamos: Estu -- dio de reignición a corriente cero.



GRAFICA 3

En la gráfica # 3 mostramos en forma simultanea la tensión y la corriente de -- lámpara.

Como podemos ver, en el momento que la corriente cruza por cero la tensión en -- la lámpara presenta un pico extremo; el valor de este pico depende del tipo de circuito, en general para un circuito -- CWA tendera a la diferencia entre OCV y la tensión de capacitor ambos medidos en el momento que la lámpara se extingue. En un circuito XH tendera al OCV natural y así cada circuito. Para fines de clari -- dad escribiremos aquí que en general -- tiende al pico al OCV ( a una fracción -- de él, en general). Dependiendo de este valor pico, conocido como el pico de -- reignición, la lámpara tardará mas o me -- nos tiempo en pasar del arco "glow" al arco de descarga.

Después de algunos ciclos operando en -- este estado la lámpara rencendera sin -- pasar por el arco "glow" en forma per -- ceptible, ya que la temperatura prome -- dio de los cátodos, durante los micro -- segundos que transcurre el paso de co -- rriente cero, será la temperatura de -- termo-emisión

El tiempo que pasa del primer rompini -- ento a el momento en que deja de ser per -- septible el arco "glow" se le denomina

tiempo de ignición.

En la práctica se encuentran fuertemente correlacionados la presencia - del arco glow con la expulsión del - material electro emisor del cátodo (fenómeno conocido como "sputering") Este fenómeno conduce a dos efectos:

- 1) EL ENNEGRECIMIENTO DEL TUBO DEL ARCO
- 2) EL AUMENTO EN LA TENSION DEL CATODO

Es por lo tanto deseable reducir al mínimo la presencia del arco glow.

La operación correcta de una lámpara es función de varios parámetros eléctricos, estos se encuentran descritos en las normas ANSi correspondientes (por ejemplo trapezoide de regulación, tensión de sostenimiento etc)

En este pequeño espacio nos hemos esforzado por describir únicamente el fenómeno de rompimiento y de transición "glow" a arco, no pretendemos - dar una descripción detallada de la operación de las lámparas de alta intensidad de descarga.

Desde el punto de vista que hemos -- trabajado aquí consideramos que una lámpara ha estabilizado cuando ya no se presentan descargas "glow" durante ningun medio ciclo.

En particular una lámpara habrá estabilizado en sus condiciones nominales cuando opere sin presentar descargas "glow" durante ninguno de sus medios ciclos y ademas opera a tensión y corriente nominal.

Es posible operar una lámpara de alta intensidad de descarga a condiciones inferiores a las nominales siempre que:

- 1) Se asegure la presencia de un fenómeno "sputering" menor o equivalente a el que se presenta en operación nominal.
- 2) Se asegure la operación de la lámpara estable, esto es sin la presencia de descargas "glow" durante ningun medio ciclo.

Desde luego esto nos permitirá demandar menor energía del sistema suministrador.

Es predecible que al operar por debajo de las condiciones nominales, una lámpara de alta intensidad de descarga se presente:

- 1) Una disminución de la eficacia.
- 2) Un corrimiento de color

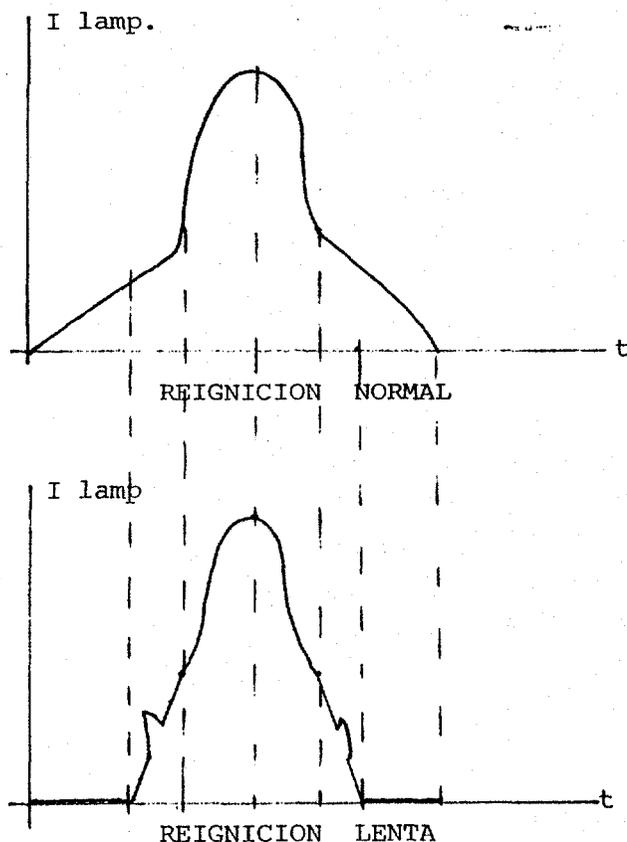
Hoy en dia existen dos sistemas comercialmente distribuidos para operar las lámparas de descarga por debajo de sus condiciones nominales:

- I) Acondicionador de la tensión de alimentación del conjunto de lámpara-balastro.
- II) Acondicionador de la impedancia del balastro.

El primer tipo de sistema esta cayendo en desuso por que:

-TARDA MUCHO EN PERMITIR QUE LA LAMPARA ESTABILICE, CONDUCIENDO ESTO A UN MAYOR TIEMPO DE PRESENCIA DEL FENOMENO DE "SPUTERING"

-OBLIGA A QUE LA TENSION DE REIGNICION SE CONSTRUYA EN FORMA LENTA, CAUSANDO QUE AL ENVEJECER MEDIANTE UNA LAMPARA DE DESCARGA COMIENCE A CICLAR.



Sin embargo este tipo de sistema es - la solución mas simple para controlar uns sistema de alumbrado en grupo.

La segunda opción es la que garantiza una operación técnicamente confiable Existen distintas técnicas para variar la impedancia de un balastro, las más difundidas hoy día son: La variación capacitiva y la variación inductiva.

#### RESULTADOS:

TODOS LOS DATOS Y MEDICIONES DE --  
 ESTA SECCION SON VALIDOS UNICAMEN--  
 TE PARA BALASTROS QUE VARIAN LA --  
 PARTE CAPACITATIVA DE SU IMPEDAN--  
 CIA.

Observamos primero la operación de una lámpara de sodio en alta presión para dos potencias de lámparas diferentes:

Un sistema de 250 watts sodio alta presión.

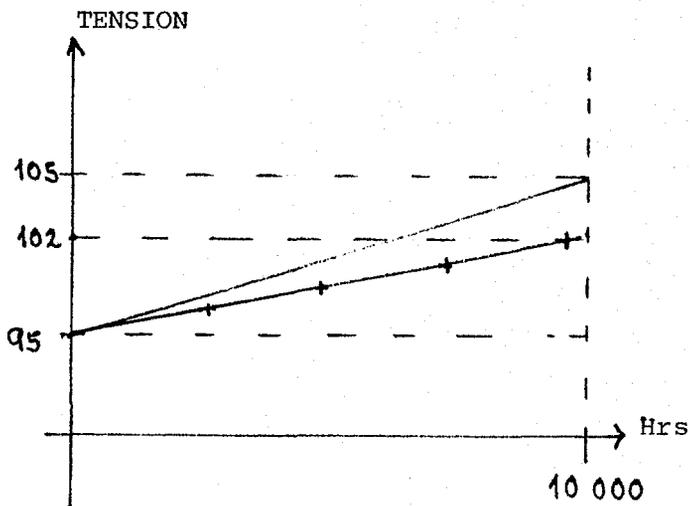
	OPERACION NOMINAL	OPERACION REDUCIDA.
TENSION	220Vrcm/60Hz	220Vrcm/60Hz
O C V	210 V rcm	210 V rcm
CORRIENTE DE ARRANQUE DE LAMPARA	3.9 Arcm	3.9 Arcm
CORRIENTE DE LINEA	1.32Arcm	0.84Arcm
POTENCIA DE LINEA	280 watts	180 watts
FP	96.4	97.4
CORRIENTE DE LAMPARA	3.1	2.85
TENSION DE LAMPARA	100	67
PERDIDAS	30	28
FC	1.65	1.68

Como se muestra, se tiene una disminución de 100 watts en la potencia de consumo, - esto es -35.7% de consumo. Por otro lado la salida de luz por watt aplicado ----- (la eficacia) disminuye a razón de 8.2% hasta la potencia de lámpara indicada; -

es decir la salida de luz disminuye - un 43.9%. Si bien es cierto que la salida de luz disminuye más (8.2%) que la reducción en el consumo, también es cierto que el sistema lámpara balastro presenta un mejor mantenimiento de flujo luminoso, lo cual nos hace pensar que a 10,000 Hrs. de operación este efecto no es perceptible.

En cuanto a la vida de la lámpara medida en términos de la tensión de lámpara, podemos esperar que el uso de balastos con impedancia capacitiva variable aumenta la expectativa de vida.

En pruebas de operación 10 min. encendido y 10 min. apagado, con 5 min. a potencia plena y 5 min. a operación reducida, se obtienen tasas de incremento en la tensión de lámpara menores que si la lámpara se opera a potencia plena.



— POTENCIA NOMINAL

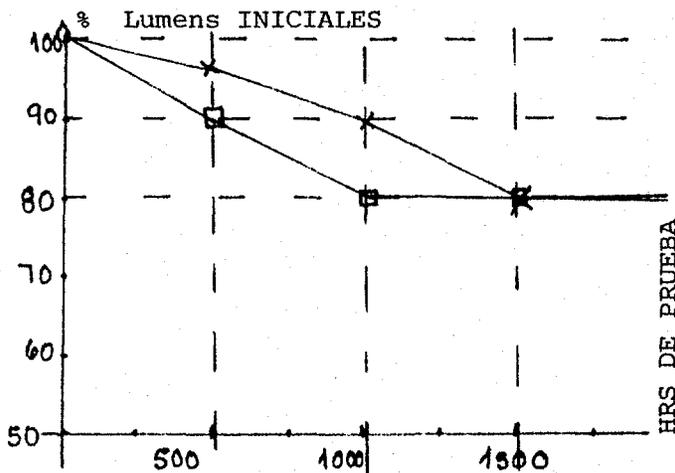
+ + + POTENCIA REDUCIDA

Veamos ahora otro caso: Una lámpara de 400W de aditivos metálicos.

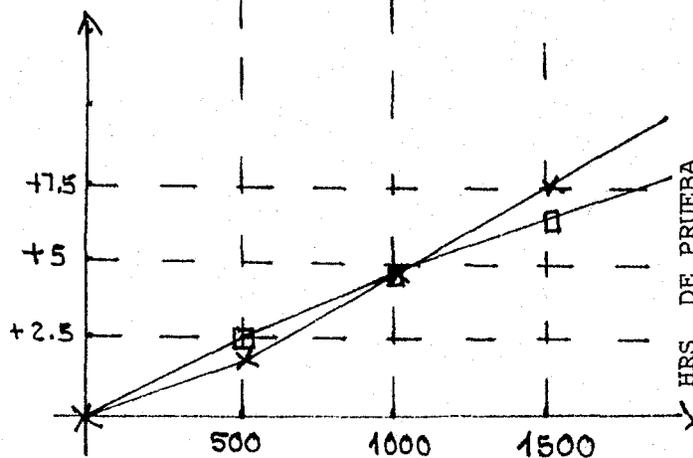
	OPERACION NOMINAL	OPERACION REDUCIDA.
TENSION	220Vrcm/60Hz	220Vrcm/60Hz
OCV	290Vrcm/520Pk	290Vrcm/520Pk
Vss	250Pk	250Pk
CORRIENTE DE ARRANQUE DE LAMPARA	3.8	3.8
CORRIENTE DE LINEA	2.14	1.58
POTENCIA DE LINEA	439	330
FP	93	95
CORRIENTE DE LAMPARA	3.2	2.58
TENSION DE LAMPARA	130	127
PERDIDAS	47	40
FC	1.65	1.62

El mantenimiento de flujo luminoso - se comporta un poco diferente para - una lámpara de aditivos metálicos -- que para una lámpara de sodio en alta presión.

Operando nuevamente las lámparas 10 min. encendidas 10 10 min. apagadas, con 5 min. a potencia nominal y 5min a potencia reducida tenemos:



MANTENIMIENTO DE FLUJO LUMINOSO



ELEVACION DE LA TENSION DE LAMPARA

En lo que se refiere a la temperatura - de color, la información internacional al respecto refiere que al operar las - lámparas de aditivos metálicos a una -- potencia menor a la nominal, la tempera - tura de color se moverá paulatinamente dentro de una banda de  $\pm 200^\circ\text{K}$  durante las primera 3000 Hrs. y después tenderá a la baja.

Para este caso, tenemos un ahorro de -- potencia de consumo de 109 watts -- (-24.8%) con una disminución en el flujo luminoso de (-35%) esto es, la salida de luz disminuye un 10.2% mas de lo que reduce en porcentaje la potencia de consumo.

Es importante hacer notar que si la potencia de lámpara se reduce aun más, no es posible sostener la temperatura de - termoemisión en los cátodos, y como resultado se presenta un fenomeno de --- "sputering" virtual muy acentuado que - trae como resultado una gran deprecia-- ción en el flujo luminoso y una falla - prematura de la lámpara.

#### CONCLUSIONES:

-Es posible operar las lámparas de alta intensidad de descarga por debajo de - su potencia nominal siempre que:

- 1) SE ASEGURE QUE NO SE PRESENTE UN - NIVEL DE "SPUTERING" SUPERIOR O DE MAYOR DURACION QUE EL QUE SE PRE-- SENTA EN CONDICIONES NOMINALES.
- 2) SE GARANTICE UNA CORRECTA REIGNI-- CION CADA 1/2 CICLO.
- 3) SE ASEGURE QUE LA TEMPERATURA DE LOS CATODOS SEA SUPERIOR O IGUAL - A LA TEMPERATURA DE TERMO-EMISION
- 4) SE CONSERVE UNA CORRECTA TRANSICION DEL "GLOW" ARCO AL ARCO DE DESCAR- GA.

-En general el flujo luminoso por --- watt aplicado disminuye ligeramente más rápido que lo que disminuye la potencia de lámpara.

-El operar una lámpara de descarga - por debajo de su potencia nominal - no afecta su vida útil, si la operación se hace correctamente.

BIBLIOGRAFIA:

- 1) "Properties of high intensity discharge lamps operating on Reduced Power lighting systems"

JOURNAL OF THE ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY VOLUME 22 NUMBER - 2 SUMMER 1993, NEW YORK U.S.A.

- 2) "The High-Pressure Sodium Lamp"

J. de Groot and J Van Vliet

PHILIPS TECHNICAL LIBRARY

1986 MACMILLAN EDUCATION LTD,  
LONDON, ENGLAND.  
ISBN 0 333 43245 2

- 3) ANSi C78.387-1987, for electrical lamps-  
METAL HALIDE LAMPS-METHOD OF MEASURING CHARACTERISTICS.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE NEW YORK, U.S.A.

- 4) ANSi C78.388-1990 for electrical lamps-  
HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS-METHOD OF MEASURING CHARACTERISTICS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE NEW YORK, U.S.A.

- 5) "OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGIA EN EL ALUMBRADO, DENTRO DE LA REALIDAD NACIONAL"

ING. FIS. ERNESTO MENDOZA

-MEMORIA 1er. SEMINARIO PENINSULAR 93,  
MERIDA - MEXICO.

ASOCIACION DE TECNICOS Y  
PROFESIONISTAS EN APLICACION  
ENERGETICA, A.C.  
ATPAE

XIV SEMINARIO NACIONAL  
SOBRE USO RACIONAL DE LA  
ENERGIA

MUSEO TECNOLOGICO DE C.F.E.  
MEXICO, D.F.

Noviembre 22 al 26 de 1993

ING. JORGE GUTIERREZ VERA  
Director Técnico  
Eléctrica Integral, S.A. de C.V.

CONTROL AUTOMATIZADO DE  
EQUIPO ELECTRICO EN  
"EDIFICIOS INTELIGENTES"

RESUMEN

En este trabajo se pretende llamar la atención de la audiencia y de los lectores del mismo, de la gran importancia que a nivel nacional tienen los programas de ahorro y conservación de energéticos, tanto primarios como secundarios. Maxime si tomamos en cuenta que en nuestro país, por disposición constitucional, la prestación del servicio público de energía eléctrica está reservada a la nación a través de Comisión Federal de Electricidad (CFE). La cual es un organismo descentralizado del Gobierno Federal y por ende, sujeta entre muchas otras a la Ley de Presupuesto, Contabilidad y Gasto Público.

Quienes conocemos CFE sabemos de la gran dificultad, siempre creciente, de allegarse recursos para financiar sus obras de infraestructura, entre las que podemos citar: centrales eléctricas, subestaciones, líneas de transmisión y redes de distribución. Por lo anterior, los programas de ahorro y conservación de la energía representan para el sector

eléctrico nacional la posibilidad de diferir las inversiones requeridas para garantizar la oferta de energía.

Por otra parte, a los usuarios del servicio público de energía, el instituir dentro de sus políticas operativas programas de ahorro y conservación de la energía, indudablemente les redundará en beneficios económicos y se mejorará el índice de Kwh/Unidad de Producto Terminado.

Finalmente, en un país como el nuestro en donde el 66% de la energía generada por el sector eléctrico nacional proviene de centrales termoeléctricas que usan para su operación combustibles fósiles, la implementación generalizada de programas de ahorro de energía disminuirá la necesidad de generar Kwh, y en consecuencia, la emisión de contaminantes agresivos al medio ambiente tales como óxidos de nitrógeno y de azufre, bióxido de carbono y partículas suspendidas.

DESARROLLO DEL TEMA

Para el control automatizado de equipos eléctricos en edificios, hemos establecido como una condición sin equanon como un primer paso, llevar a cabo una auditoría energética del edificio de que se trate, la cual a grandes rasgos, consiste en lo siguiente:

1. Levantamiento arquitectónico (si no existen planos).
2. Censo de carga eléctrica.
3. Actualización y/o elaboración del diagrama unifilar.
4. Condiciones en que se encuentra el equipo electromecánico.
5. Obtención via PC de las curvas de utilización de la energía en las 24 horas de los días hábiles.

6. Análisis de niveles de iluminación, tipo y capacidad de luminarias, lámparas y balastos.

7. Análisis de las condiciones de operación del sistema de aire acondicionado.

8. Análisis de las condiciones de operación del sistema de agua potable.

9. Filosofía de operación de elevadores y montacargas.

10. Análisis de los contratos de suministro vigentes, con CFE y solicitar su modificación en caso de requerirse.

11. Sugerencias y recomendaciones.

12. Determinación del porcentaje de reducción mínimo garantizado en necesidades de potencia y energía, si se aceptan nuestras sugerencias y recomendaciones de que se habla en el punto anterior, siempre y cuando no se incrementen las cargas eléctricas.

13. Tiempo en que se amortiza la inversión requerida si se llevan a cabo los trabajos descritos en nuestras sugerencias y recomendaciones, siempre y cuando no se incrementen las cargas eléctricas.

14. Análisis de la concepción filosófica de los sistemas de protección y control, así como de sus ajustes y proposición de modificaciones, de estimarse necesarias.

Los objetivos fundamentales que persigue la Auditoría Energética antes descrita, son los siguientes:

I. Establecimiento de programas permanentes de ahorro y conservación de la energía mediante el uso de sistemas y equipos que más adelante se describirán, y sobre todo inducir con dichos programas un estado anímico en el personal que labora en edificios, de tal suerte que este concepto pueda extrapolarse a otros fluidos vitales

requeridos por el inmueble, entre los que podemos citar:

- Agua
- Combustibles
- Oxígeno

II. Mejoramiento de la continuidad y calidad de servicio eléctrico dentro del edificio. Este concepto es de vital importancia en procesos industriales con objeto de disminuir costos unitarios de producción, máxime en vísperas de la implantación del Tratado de Libre Comercio.

III. Mejoramiento de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

IV. Establecimiento de programas de normalización en lo que se refiere al equipo electromecánico, con objeto de reducir a su mínima expresión el costo financiero que representan los inventarios de partes y refacciones.

#### SISTEMAS DE AHORRO Y CONSERVACION DE ENERGIA ELECTRICA CASO DE EDIFICIOS

Con este sistema se pretende optimizar el uso de la energía eléctrica via módulos de control electrónico en edificios de oficinas, bancos, tiendas de autoservicio, etc.

Las cargas eléctricas más representativas de estos inmuebles son, a saber:

- Aire acondicionado
- Bombeo de agua potable
- Iluminación
- Elevadores

El módulo de control ó "control maestro" es la parte más importante de estos sistemas, toda vez que en combinación con pequeños controladores remotos o de zona, se pueden monitorear una gran cantidad de variables tales como temperatura, presión, partes por millón de bióxido de carbono, status de

interruptores (abierto-cerrado), etc. Este monitoreo se hace en tiempo real y para el efecto, tanto el control maestro como los de zona, deberán trabajar en coordinación con sensores que miden las variables antes mencionadas.

Obviamente los equipos antes mencionados también son capaces de ejecutar rutinas de control para optimizar el funcionamiento de los subsistemas de aire acondicionado, de bombeo de agua, de iluminación y en algunos casos de elevadores. La ejecución de las mencionadas rutinas de control será en función de las variables medidas y de un programa preestablecido que tenga como filosofía de operación, activar los subsistemas, cuando exista una necesidad comprobada de la operación de los mismos, todo ello por supuesto en tiempo real.

Es importante destacar que el sistema está diseñado para poder accederlo remotamente via PC, modem y línea telefónica para consulta sobre la operación en tiempo real de los diferentes subsistemas e inclusive cambiar ajustes de las variables que se deseen, si así se estima conveniente.

Este tipo de sistemas también son capaces de almacenar datos históricos sobre temperaturas horarias en forma diaria, horas de operación de los equipos, flujos de agua, presiones, etc., los cuales son muy importantes para el control de mantenimientos preventivos y correctivos.

#### SUBSISTEMA AIRE ACONDICIONADO

La forma de operación consiste en definir via programación (software) la temperatura y niveles en ppm de CO<sub>2</sub> que se desea tener en una oficina, estos parámetros son monitoreados por los sensores en tiempo real, y cuando los valores prefijados en el programa son rebasados, el sistema (control maestro y controladores remotos), inician una rutina de operación que consiste en:

- Verificar temperatura exterior y si es más baja que la interior, admitir aire fresco. Si esta medida no es factible o es insuficiente:
- Arrancar ventiladores del aire acondicionado.
- Verificar status de las compuertas en los ductos del aire acondicionado y abrirlas en caso de ser posible.
- Finalmente, arrancar una unidad de aire acondicionado.

El sistema está diseñado para seguir un proceso inverso de la rutina antes mencionada, esto es, parar equipos una vez que se detecte via los sensores, una disminución en la carga térmica en la oficina que nos ocupa.

Con el procedimiento antes descrito, se cumple la filosofía de operación del sistema de arrancar equipos solo cuando hay una necesidad comprobada de su operación y pararlos cuando ésta ha desaparecido.

#### SUBSISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE

Este subsistema se diseña y programa para operar, tomando como base la curva de duración de carga en días hábiles que se obtuvo al practicar la auditoría energética y consiste fundamentalmente en:

Inhibir la operación de las bombas entre las 18:00 y 22:00 horas de los días hábiles en aquellos edificios que tengan servicio contratado en tarifa HM, con objeto de evitar el incremento de costos en las horas de demanda máxima previstos en dicha tarifa. Si para lograr lo anterior, es necesario incrementar la capacidad de almacenamiento de agua en tinacos ó depósitos superiores, esta inversión se justifica plenamente.

En el caso de servicios contratados al amparo de tarifas OM ó 3, la filosofía de

operación de las bombas, consistirá en hacerles trabajar en las horas del valle de la curva de duración de carga del edificio, con objeto de disminuir los cargos por demanda y mejorar el factor de carga de la instalación.

sistemas, tales como el de seguridad, el contraincendio, el de control de acceso, etc.

### SUBSISTEMA DE ILUMINACION

Si bien este subsistema puede ser operado en forma centralizada por el control maestro con la filosofía de encender y apagar luces a horas predeterminadas y activar la iluminación de ciertas áreas fuera del horario prefijado, para aquellos casos de excepción, desde algún centro de control. Consideramos que para nuestro país, la excepción sería la regla, por lo que para este subsistema hemos optado por la instalación de sensores de presencia a base de rayos infrarrojos y de ultrasonido que detectan el calor que irradia el ser humano o sus movimientos y activan los interruptores del subsistema de iluminación, y cuando detectan la ausencia de personas, desactivan dicho sistema. Con ello se cumple la filosofía de encender luces solo cuando se requieren.

### SUBSISTEMA DE ELEVADORES

En esta aplicación solo se puede interactuar cuando se trata de filosofías anticuadas, en las que por default, los elevadores se envían todos a la planta baja cuando no hay llamadas, y siempre y cuando no exista una garantía o contrato de mantenimiento con el fabricante.

Esta filosofía se puede cambiar en estos casos, para distribuir estratégicamente los elevadores entre los pisos del edificio cuando no hay demanda de servicio, y a la primer llamada, hacer que acuda el elevador que se encuentre en el piso superior más cercano.

Para concluir, es de importancia destacar que la versatilidad de estos sistemas es tan amplia que también son capaces de interactuar con otros

**NORMALIZACION PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA**

ING. ARTURO REYES DIAZ

FIDEICOMISO DE APOYO AL PROGRAMA DE AHORRO  
DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO (FIDE)**RESUMEN**

**EL PRESENTE TRABAJO, DESCRIBE BREVEMENTE LA LEGISLACION ACTUAL SOBRE LA NORMALIZACION; ASI COMO LA PARTICIPACION DE LAS ENTIDADES FIDE Y PAESE EN LOS COMITES CONSULTIVOS, PARA LA ELABORACION DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS ENFOCADAS AL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA.**

**TEMARIO**

- I.- ANTECEDENTES Y METODOLOGIA DE LA NORMALIZACION Y CREACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNNPURRE).
- II.- ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNNPURRE) DE LA COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA (CONAE) EN SEMIP.
- III.- ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE SEGURIDAD Y SERVICIOS EN LA EDIFICACION (CCNNSSE) DE SEDESOL.
- IV.- ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LAS INSTALACIONES ELECTRICAS (CCNNIE) DE LA DIRECCION GENERAL DE OPERACION ENERGETICA EN SEMIP.
- V.- PARTICIPACION DEL FIDE-PAESE EN LOS COMITES CONSULTIVOS N A C I O N A L E S D E NORMALIZACION.
- VI.- CONCLUSIONES

**I.- ANTECEDENTES DE LA NORMALIZACION Y CREACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNN/PURRE)**

EN FECHA 1o. DE JULIO DE 1992, SE PUBLICO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION LA "LEY FEDERAL SOBRE METROLOGIA Y NORMALIZACION" (ESTA ABROGA LA PUBLICADA EL 26 DE ENERO DE 1988), ESTA LEY ESTABLECE Y DEFINE SISTEMAS, CONCEPTOS Y ORGANISMOS QUE REGULAN LAS ACTIVIDADES DE METROLOGIA Y NORMAS, CERTIFICACION Y VERIFICACION DE PRODUCTOS Y SERVICIOS. LA LEY RIGE EN TODA LA REPUBLICA, SIENDO DE ORDEN PUBLICO E INTERES SOCIAL. SU APLICACION Y VIGILANCIA CORRESPONDE AL EJECUTIVO FEDERAL.

ENTRE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS QUE PERSIGUE DESTACAN LOS SIGUIENTES:

-INSTITUIR LA COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION.

-ESTABLECER UN PROCEDIMIENTO UNIFORME PARA LA ELABORACION DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM).

-ESTABLECER EL SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO DE ORGANISMOS DE NORMALIZACION Y DE CERTIFICACION, UNIDADES DE VERIFICACION Y DE LABORATORIOS DE PRUEBA Y DE CALIBRACION.

-SE DAN DEFINICIONES DE TERMINOS EMPLEADOS EN ESTA LEY COMO SON: NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM), Y SON LAS QUE LAS AUTORIDADES

COMPETENTES EXPIDAN CON CARACTER DE OBLIGATORIO.

"LA COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION" SE INSTITUYE CON EL FIN DE COADYUVAR EN LA POLITICA DE NORMALIZACION Y PERMITIR LA COORDINACION DE ACTIVIDADES QUE A ESTA MATERIA CORRESPONDA REALIZAR LAS DISTINTAS DEPENDENCIAS DE LA ADMINISTRACION PUBLICA.

ESTA COMISION ESTA INTEGRADA POR LOS SUBSECRETARIOS; DE LA SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO, SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL, SECRETARIA DE MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL, SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HUMANOS, SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE, SEGURO SOCIAL, SECRETARIA DE TURISMO, SECRETARIA DE PESCA Y SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL, Y LOS REPRESENTANTES DE LAS CAMARAS Y ASOCIACIONES DE INDUSTRIALES Y COMERCIANTES.

LAS FUNCIONES RELEVANTES DE LA COMISION SON:

-APROBAR EL PROGRAMA NACIONAL DE NORMALIZACION Y VIGILAR SU CUMPLIMIENTO ASI COMO RECOMENDAR LAS NORMAS QUE

**I.- ANTECEDENTES DE LA NORMALIZACION Y CREACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNN/PURRE)**

EN FECHA 10. DE JULIO DE 1992, SE PUBLICO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION LA "LEY FEDERAL SOBRE METROLOGIA Y NORMALIZACION" (ESTA ABROGA LA PUBLICADA EL 26 DE ENERO DE 1988), ESTA LEY ESTABLECE Y DEFINE SISTEMAS, CONCEPTOS Y ORGANISMOS QUE REGULAN LAS ACTIVIDADES DE METROLOGIA Y NORMAS, CERTIFICACION Y VERIFICACION DE PRODUCTOS Y SERVICIOS. LA LEY RIGE EN TODA LA REPUBLICA, SIENDO DE ORDEN PUBLICO E INTERES SOCIAL. SU APLICACION Y VIGILANCIA CORRESPONDE AL EJECUTIVO FEDERAL.

ENTRE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS QUE PERSIGUE DESTACAN LOS SIGUIENTES:

-INSTITUIR LA COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION.

-ESTABLECER UN PROCEDIMIENTO UNIFORME PARA LA ELABORACION DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM).

-ESTABLECER EL SISTEMA NACIONAL DE ACREDITAMIENTO DE ORGANISMOS DE NORMALIZACION Y DE CERTIFICACION, UNIDADES DE VERIFICACION Y DE LABORATORIOS DE PRUEBA Y DE CALIBRACION.

-SE DAN DEFINICIONES DE TERMINOS EMPLEADOS EN ESTA LEY COMO SON: NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM), Y SON LAS QUE LAS AUTORIDADES

COMPETENTES EXPIDAN CON CARACTER DE OBLIGATORIO.

"LA COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION" SE INSTITUYE CON EL FIN DE COADYUVAR EN LA POLITICA DE NORMALIZACION Y PERMITIR LA COORDINACION DE ACTIVIDADES QUE A ESTA MATERIA CORRESPONDA REALIZAR LAS DISTINTAS DEPENDENCIAS DE LA ADMINISTRACION PUBLICA.

ESTA COMISION ESTA INTEGRADA POR LOS SUBSECRETARIOS; DE LA SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO, SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL, SECRETARIA DE MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL, SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HUMANOS, SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE, SEGURO SOCIAL, SECRETARIA DE TURISMO, SECRETARIA DE PESCA Y SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL, Y LOS REPRESENTANTES DE LAS CAMARAS Y ASOCIACIONES DE INDUSTRIALES Y COMERCIANTES.

LAS FUNCIONES RELEVANTES DE LA COMISION SON:

-APROBAR EL PROGRAMA NACIONAL DE NORMALIZACION Y VIGILAR SU CUMPLIMIENTO ASI COMO RECOMENDAR LAS NORMAS QUE

CONSIDERE CONVENIENTES.

-DICTAR LINEAMIENTOS PARA LOS COMITES DE EVALUACION Y LOS COMITES CONSULTIVOS.

LOS COMITES CONSULTIVOS NACIONALES DE NORMALIZACION SON ORGANOS PARA LA ELABORACION DE LAS NOM Y LA PROMOCION DE SU CUMPLIMIENTO Y ESTARAN INTREGADOS POR PERSONAL TECNICO DE:

- LAS DEPENDENCIAS COMPETENTES
- ORGANIZACIONES INDUSTRIALES
- PRESTADORES DE SERVICIOS
- COMERCIANTES
- PRODUCTORES AGROPECUARIOS, PARAESTATALES O PESQUEROS
- CENTROS DE INVESTIGACION CIENTIFICA O TECNOLOGICA
- COLEGIOS DE PROFESIONALES
- CONSUMIDORES

LAS DEPENDENCIAS COMPETENTES EN COORDINACION CON EL SECRETARIADO TECNICO DE LA COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION, DETERMINARAN CUALES ORGANIZACIONES DE LAS MENCIONADAS DEBEN INTEGRAR EL COMITE CONSULTIVO CORRESPONDIENTE.

EN FECHA 1o. DE MARZO DE 1993, LA COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA (CONAE) FACULTADA POR LA SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E

INDUSTRIA PARAESTATAL, CREA EL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNNPURRE), DE CONFORMIDAD CON LOS LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS POR LA LEY FEDERAL SOBRE METROLOGIA Y NORMALIZACION. (VER LAMINA No. 1 )

ESTE NUEVO COMITE INVITO AL FIDE Y AL PAESE A PARTICIPAR EN LA ELABORACION DE LOS ANTEPROYECTOS DE NORMA, EN LOS DIFERENTES SUBCOMITES INTEGRADOS.

LAS NOM TENDRAN COMO FINALIDAD ESTABLECER:

-LAS CARACTERISTICAS Y/O ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS, PROCESOS Y SERVICIOS, CUANDO ESTOS PUEDAN CONSTITUIR RIESGOS A LA VIDA EN GENERAL O AL MEDIO AMBIENTE, O CUANDO AYUDEN A LA PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES.

LAS NOM DEBEN CONTENER, DE MANERA RELEVANTE:

-LAS ESPECIFICACIONES O CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO, SERVICIO METODO, PROCESO O INSTALACION.

-LOS METODOS DE PRUEBA APLICABLES.

- EL GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS.

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA  
PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS  
ENERGETICOS  
ORGANOGRAMA FUNCIONAL

PRESIDENTE  
SECRETARIO TECNICO DE LA CONAE  
DIRIGE LOS TRABAJOS Y SESIONES DEL CCNN

SECRETARIO TECNICO  
DIRECCION GENERAL DE NORMAS  
ORGANO DE ENLACE CON LA  
COMISION NACIONAL DE NORMALIZACION  
SECRETARIO AUXILIAR  
CONAE  
FUNCIONES ADMINISTRATIVAS DEL CCNN

VOCALIAS  
REPRESENTANTES DE  
DEPENDENCIAS OFICIALES Y  
ORGANISMOS DEL SECTOR PRIVADO  
PARTICIPAR EN LOS TRABAJOS DEL  
CCNN  
PROCURAR LA COLABORACION DE LA  
INSTITUCION QUE REPRESENTAN

SUBCOMITES  
INTEGRADOS POR UN COORDINADOR Y APOYADOS POR GRUPOS DE  
ESPECIALISTAS QUIENES ANALIZARAN Y HARAN LAS RECOMENDACIONES SOBRE  
LAS PROPUESTAS DE PROYECTOS DE NORMAS

**CORRESPONDE A LAS DEPENDENCIAS COMPETENTES ELABORAR LOS ANTEPROYECTOS DE NOM Y PRESENTARLOS A LOS COMITES CONSULTIVOS NACIONALES DE NORMALIZACION.**

**LOS ANTEPROYECTOS DE NOM QUE SE PRESENTEN EN LOS COMITES PARA DISCUSION DEBERAN ACOMPAÑARSE DE UN ANALISIS QUE COMPRENDA:**

**1.-LA RAZON CIENTIFICA, TECNICA O DE PROTECCION AL CONSUMIDOR.**

**2.-LA DESCRIPCION DE LOS BENEFICIOS POTENCIALES.**

**3.-LA DESCRIPCION DE LOS COSTOS POTENCIALES.**

**4.-LA CUANTIFICACION EN TERMINOS MONETARIOS Y NO MONETARIOS DE LOS BENEFICIOS NETOS POTENCIALES.**

**5.-LA JUSTIFICACION DEL ANTEPROYECTO DE NOM CON REFERENCIA A OTRAS ALTERNATIVAS POSIBLES.**

**TODOS LOS PRODUCTOS, PROCESOS METODOS, INSTALACIONES, SERVICIOS O ACTIVIDADES DEBERAN CUMPLIR CON LAS NOM DE ACUERDO A CERTIFICACIONES O AUTORIZACIONES ACREDITAS.**

**II.-ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS (CCNNPURRE) DE LA CONAE EN SEMIP. COMO SE PUEDE OBSERVAR**

**EN LA LAMINA No. 2, EL COMITE ESTA FORMADO POR CINCO SUBCOMITES, QUE SON:**

**SC1- EFICIENCIA ELECTRICA**

**SC2- EFICIENCIA TERMICA**

**SC3- EFICIENCIA ENERGETICA EN EL TRANSPORTE**

**SC4- EFICIENCIA ENERGETICA EN LOS INMUEBLES Y**

**SC5- EFICIENCIA ENERGETICA EN EQUIPO AGRICOLA Y PARA LA CONSTRUCCION.**

**III: ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE SEGURIDAD Y SERVICIOS EN LA EDIFICACION (CCNNSSE) DE SEDESOL.**

**ESTE COMITE ESTA CONFORMADO POR CUATRO SUBCOMITES:(VER LAMINA No.3)**

**SC1- MATERIALES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES.**

**SC2- INSTALACIONES**

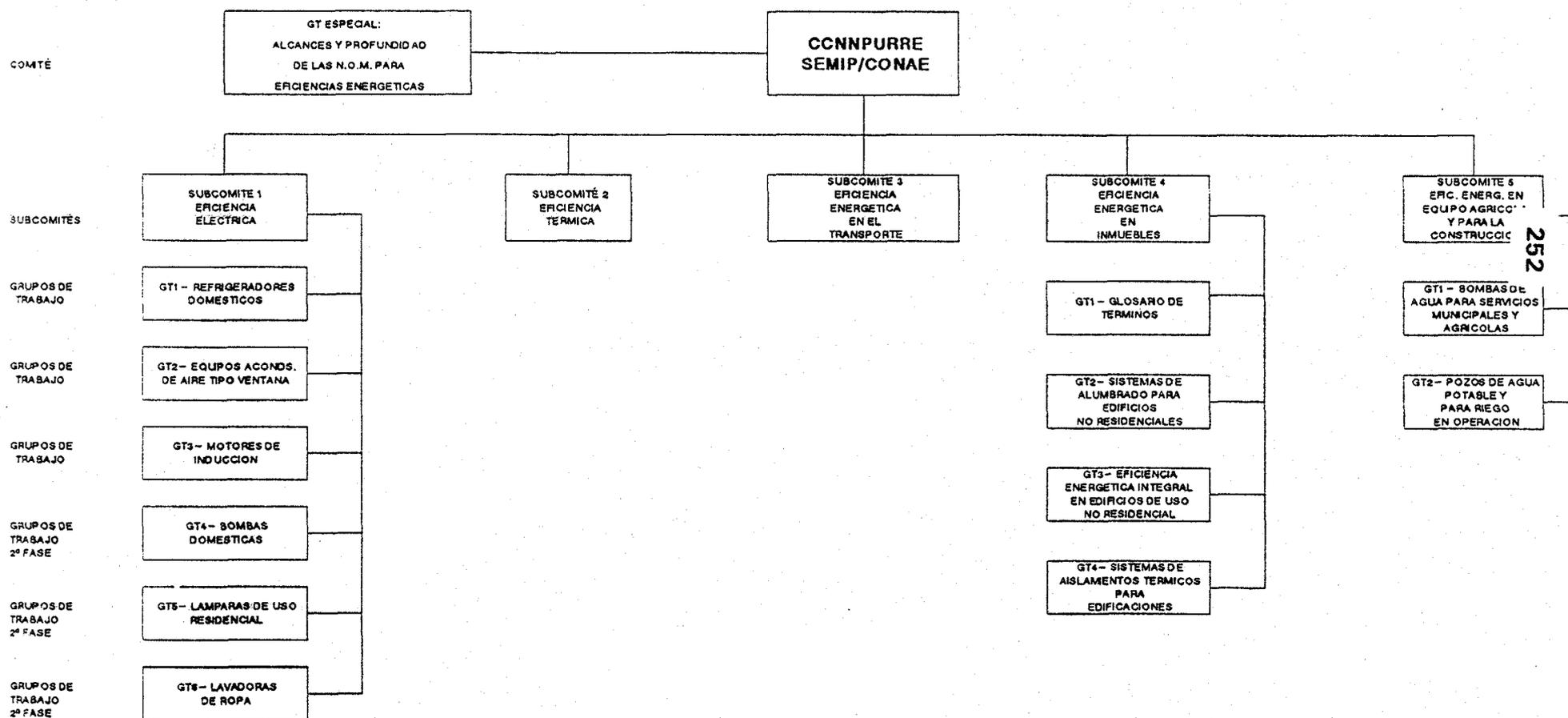
**SC3- MOBILIARIO, COMPLEMENTOS Y ACCESORIOS**

**SC4- ACABADOS Y RECUBRIMIENTOS.**

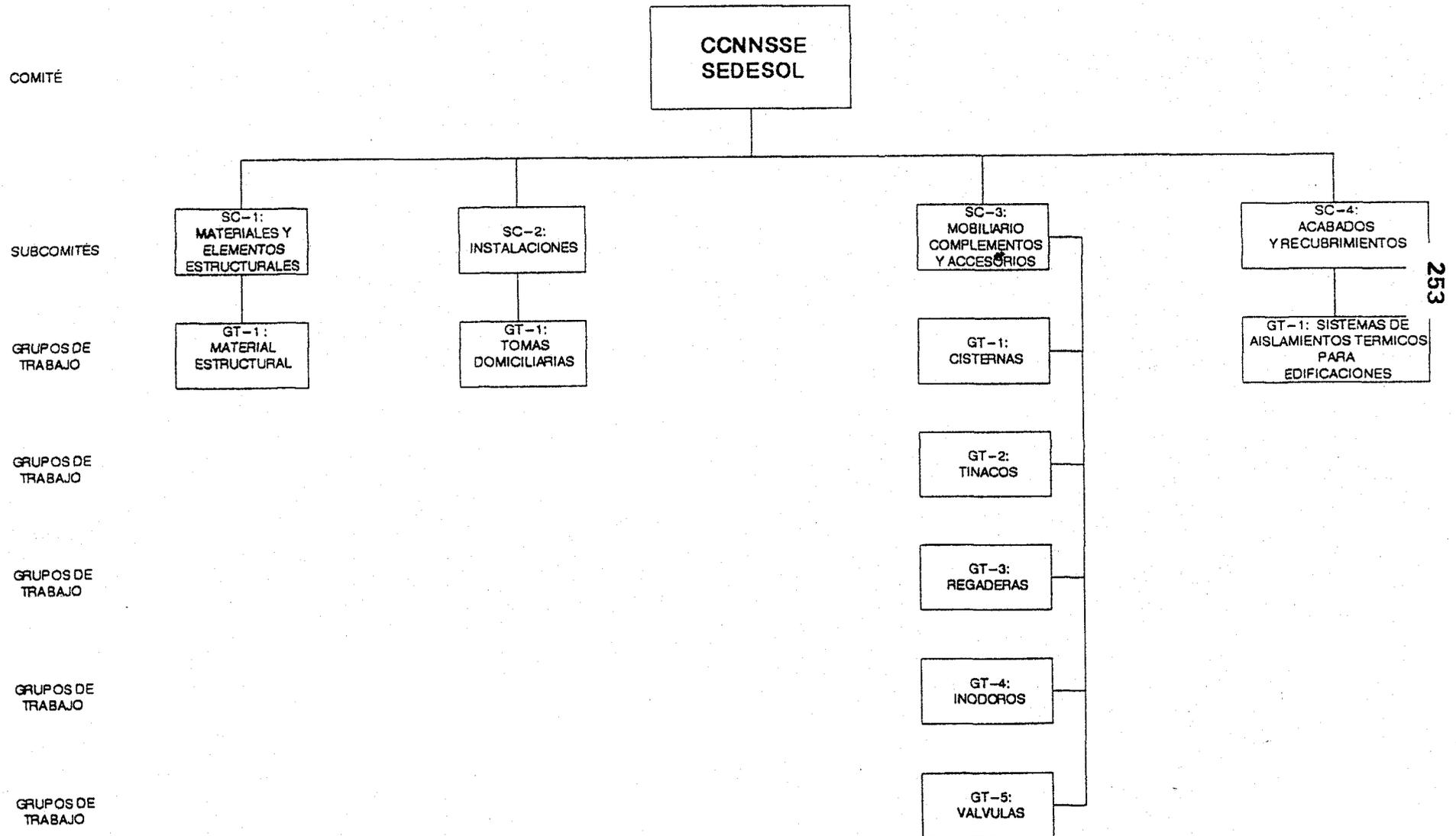
**IV.- ESTRUCTURA E INTEGRACION DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA LAS INSTALACIONES ELECTRICAS (CCNNIE) DE LA DGOE EN SEMIP.**

**ESTE COMITE FUE INSTAURADO EN FECHA AGOSTO 10 DE 1993 POR LA DIRECCION GENERAL DE OPERACION**

# COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN PARA LA PRESERVACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS ENERGETICOS-SEMIP/CONAE



# COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE SEGURIDAD Y SEVICIOS EN LA EDIFICACION – SEDESOL



253

ENERGETICA EN SEMIP. EL FIDE Y PAESE SOLICITARON A ESTA DEPENDENCIA LA PARTICIPACION EN LOS SUBCOMITES A CONTINUACION LISTADOS (VER LAMINA No. 4) PARA ASEGURAR QUE LOS CONCEPTOS DE AHORRO DE ENERGIA FUERAN INCLUIDOS:

SC-1 PROYECTO Y PROTECCION DE INSTALACIONES, METODO DE INSTALACION Y CANALIZACION.

SC-2 EQUIPO ELECTRICO DIVERSO.

SC-3 INSTALACIONES ESPECIALES Y SUBESTACIONES.

SC-4 LINEAS AEREAS, CABLES SUBTERRANEOS Y ALUMBRADO PUBLICO.

V.-PARTICIPACION DEL FIDE-PAESE EN LOS COMITES CONSULTIVOS NACIONALES DE NORMALIZACION.

BASICAMENTE ESTAS DOS ENTIDADES PARTICIPAN CON 13 PERSONAS EN LOS SIGUIENTES GRUPOS DE TRABAJO. (VER LAMINA No. 5).

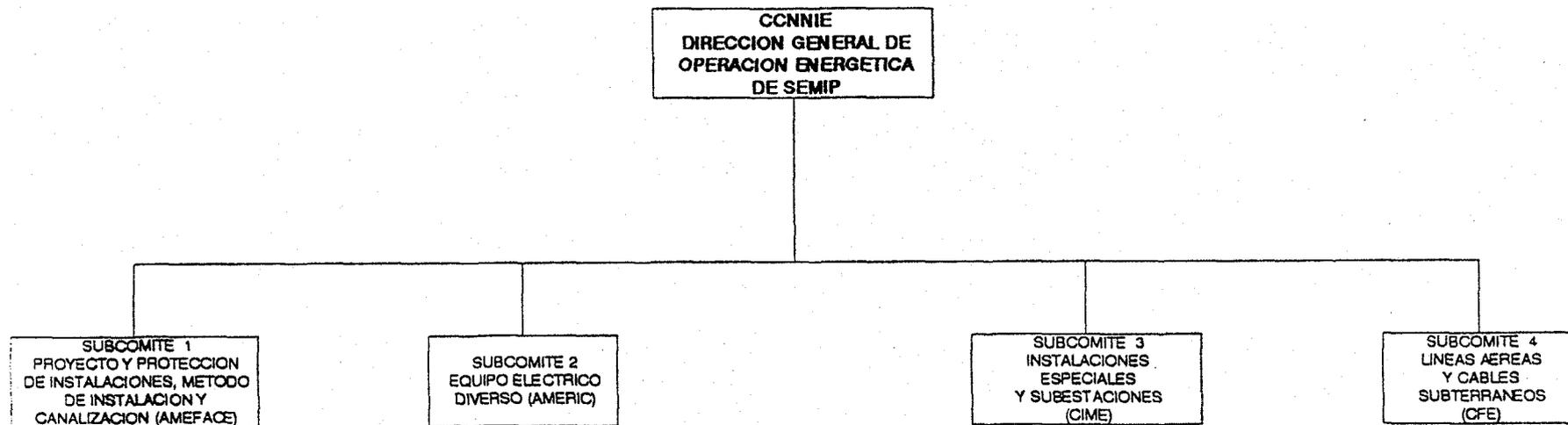
## VI.- CONCLUSIONES

LA NORMALIZACION DEBE CADA DIA COBRAR MAYOR IMPORTANCIA EN EL AMBITO NACIONAL, COMO MEDIDA DE REGULACION Y COMO UN SOPORTE FIRME EN LA REALIZACION DE ACCIONES. LAS PRINCIPALES POTENCIAS EN EL MUNDO, INICIARON LA NORMALIZACION DE LAS EFICIENCIAS ENERGETICAS DE BIENES Y SERVICIOS EN EL AÑO DE 1975, Y

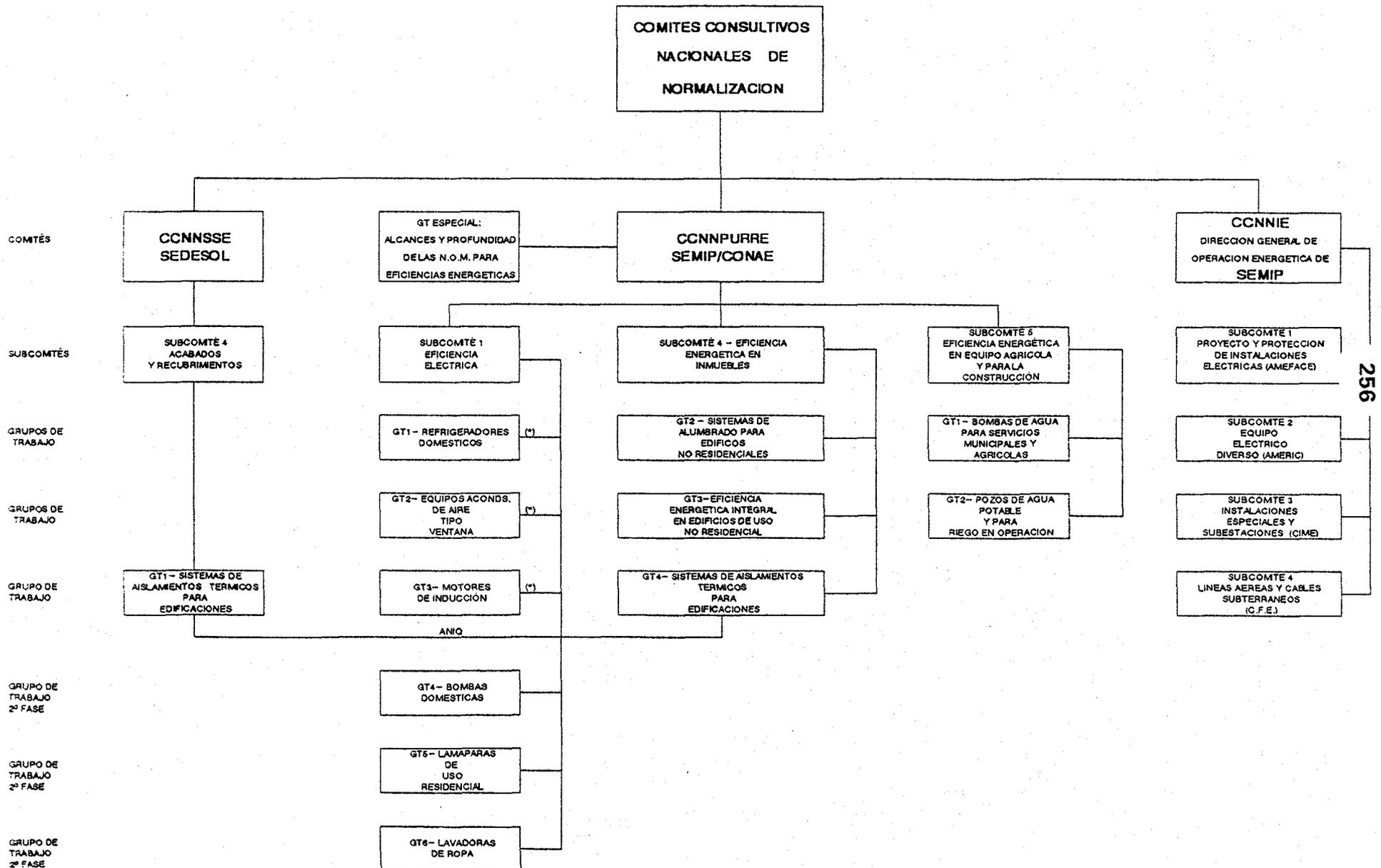
LOS RESULTADOS OBTENIDOS A LA FECHA, EN AHORROS DE ENERGIA, CONFORT Y CALIDAD AMBIENTAL, SON MUY SATISFACTORIOS; POR LO TANTO, ES NECESARIO QUE PARTICIPEMOS TODOS CON RESPONSABILIDAD EN LA NORMALIZACION, PARA QUE EN LOS AÑOS VENIDERS MEJORE NOTABLEMENTE NUESTRA CALIDAD DE VIDA.

LAMINA No. 4

COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS – DGOE/SEMIP



# PARTICIPACIÓN DE FIDE-PAESE



# AHORRO DE ENERGIA EN LA PRODUCCION DE ARRABIO EN EL ALTO HORNO N° 5

## AUTORES

ING. RICARDO A. GIL DIAZ  
ING. FRANCISCO J. QUIROZ  
ING. RITA PATRICIA RODRIGUEZ  
ING. YOLANDA BAÑUELOS GARZA

ALTOS HORNOS DE MEXICO S.A.

### ABSTRACTO.

Altos Hornos de México es una industria siderúrgica integrada al Grupo Acereros del Norte, localizada en la ciudad de Monclova Coahuila, contando con una capacidad anual instalada de 3.1 MMT de acero líquido. Dentro de sus instalaciones, AHMSA cuenta con el alto horno de mayor capacidad instalado en México, el alto horno n° 5, el cual tiene un volumen útil de 2,163 m<sup>3</sup> diseñado para producir 4,800 toneladas de arrabio por día.

La meta básica a lograr en las operaciones involucradas en la elaboración de acero vía elaboración de arrabio en el alto horno, es la producción de metal caliente al más bajo costo posible y dentro de los requerimientos de calidad especificado por las acerías. El más importante criterio para la medición del éxito alcanzado es el consumo de combustible por tonelada de arrabio producida, siendo el coque el principal combustible alimentado al alto horno y por ende el que mayor impacto tiene sobre el costo final del producto.

AHMSA contempló dentro de su plan estratégico, la disminución de producción de sus plantas coquizadoras derivadas del envejecimiento natural de sus hornos, consecuencia de esto se hace inminente el déficit de coque para producciones mayores de 2.6 MMT de acero líquido. En respuesta a esto, y ante la verdadera necesidad de disminuir los costos de producción en el proceso de elaboración de arrabio, se han implementado nuevas prácticas en el uso de los combustibles auxiliares que sustituyan en parte el consumo de coque metalúrgico como fuente de energía en el proceso del alto horno.

El uso del gas natural, combustoleo y el incremento paulatino de la temperatura de soplo caliente, han repercutido fuertemente en el consumo de coque metalúrgico disminuyéndolo considerablemente bajando los costos de producción de la tonelada de arrabio en el alto horno 5.

Otro punto importante, es la utilización de los finos de coque resultante del cribado del mismo, alimentándolos directamente a la carga del horno. Esta practica disminuyó el consumo de coque y sobre todo se incrementaron los rendimientos de nuestras plantas coquizadoras al ser utilizado al máximo el coque producido.

En resumen, las prácticas modernas en el uso de los combustibles auxiliares implementadas en los altos hornos de AHMSA, han dado sus frutos, logrando disminuir los costos de producción en el proceso de fabricación de arrabio ante la verdadera necesidad de sobresalir en el mundo aún más competido de la industria siderúrgica mundial.

## I.- OBJETIVO.

El objetivo principal de la inyección de los combustibles auxiliares, como lo es el gas natural y el combustoleo, el incremento de la temperatura de soplo caliente y la adición de coque 10-25 mm. a la carga del horno, es la de sustituir en parte el consumo de coque estándar como fuente de energía en el alto horno y al mismo tiempo disminuir los costos de producción de arrabio.

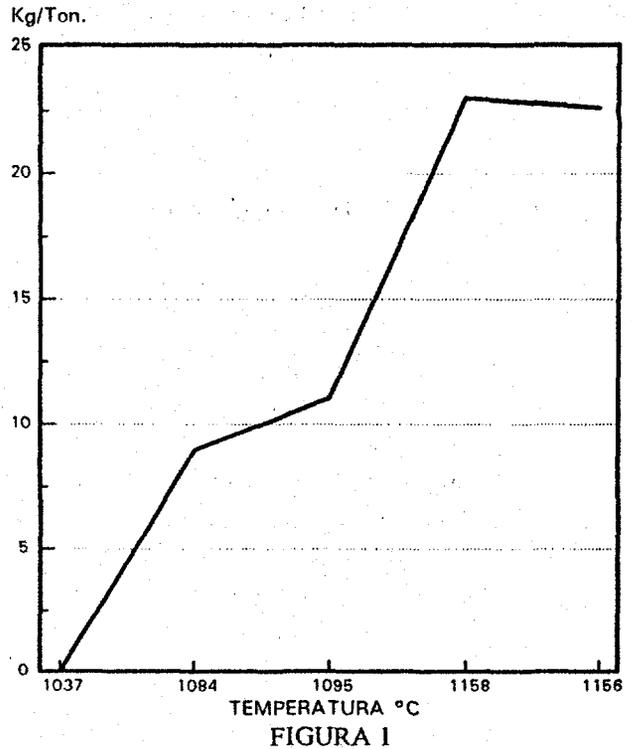
## II.- ASPECTOS TECNICOS.

La tecnología que la mayoría a nivel mundial han instrumentado para el desarrollo de la prácticas modernas en el alto horno son básicamente la preparación de la materia prima y la modificación del soplo. Dentro del segundo punto, el uso del aire calentado a altas temperaturas combinado con combustibles auxiliares tales como gas natural, combustoleo, alquitrán, etc., han ayudado al logro de operaciones estables y muy eficientes. El presente trabajo tiene la finalidad de mostrar los resultados obtenidos por la aplicación de éstas prácticas en el alto horno 5 de AHMSA.

### INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DE SOPLO CALIENTE.

El incremento de la temperatura de soplo caliente es uno de los factores que influenciaron en la reducción del gasto de coque. Con el aire caliente se suministra al alto horno entre el 20 y 30% de la energía total que requiere el proceso. Esto compensa el calor que podría ser obtenido quemando coque, además, la fuente de energía más barata que se suministra al proceso lo es la temperatura de soplo caliente.

La figura n° 1 muestra la disminución del consumo de coque / ton. con el incremento de la temperatura de soplo caliente de 1037 a 1156 °C desde 1989 a 1993. Esto trajo como resultado una disminución de 22.61 Kg. de coque /ton. de rrabio producida, equivalente a 4.11% del gasto total de coque.



Para el logro del incremento de la temperatura de soplo caliente, se establecieron prácticas para optimizar la operación de las estufas del alto horno 5. Como punto inicial se trabajó en la elaboración de los programas de revisión y modificación de los parámetros operativos de diseño. Se trabajó en el incremento gradual de la temperatura de soplo caliente a la par con la temperatura de la interfase de las tres estufas, como se observa en la tabla n° 1.

CONCEPTO	UNID.	1989	1990	1991	1992	1993
T.SOPLO	°C	1037	1084	1095	1158	1158
TEMP.INTER.	°C	1100	1100	1150	1300	1300
TEMP.DOMO	°C	1400	1400	1400	1400	1400
HUM. DEL SOPLO	gr/m3	27	22	16.30	9.23	9.23
GAS COQUE	M3/hr	8327	9646	12311	15358	15248
ENRIQUECIMIENTO	%	12	14	18	22	22
CICLO DE SOPLO	MIN.	VAR.	VAR.	VAR.	40	40
CICLO DE GAS	MIN.	VAR.	VAR.	VAR.	55	65

TABLA N° 1

Se fijaron los parámetros operativos a seguir por el operador para la operación eficiente del equipo, para asegurar el logro del objetivo deseado.

### ADICION DE COQUE 10-25 mm.

Apartir de 1991, se inició con la práctica de adición de coque 10-25 mm. directamente a la carga del alto horno. La finalidad de ésta práctica, es la de aprovechar los finos de coque generados durante el cribado del mismo y alimentarlo al horno junto con la carga ferrosa (sinter y pelet), para sustituir en parte el coque que se consume para preparación de la carga en la cuba del alto horno, y al mismo tiempo, incrementar los rendimientos en nuestras plantas coquizadoras al ser utilizado al máximo el coque producido.

La figura n° 2 muestra la disminución de coque estándar por adición de finos de coque.

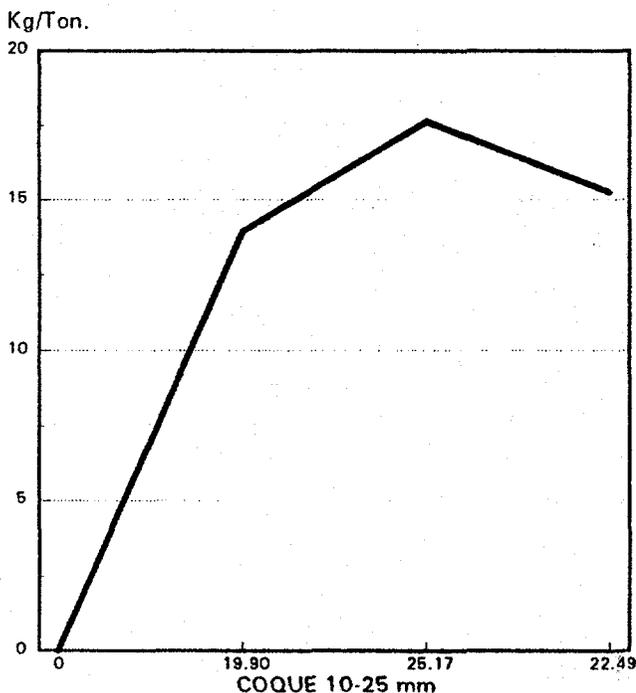


FIGURA N° 2

Los coeficientes de reemplazo de coque 10-25 mm. a coque estándar fueron del 70%, es decir, que por cada tonelada de coque 10-25 mm. alimentada se dejaron de consumir 700 kg. de coque estándar.

### CO-INYECCION DE GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO.

Aprovechando que el alto horno 5 arranco con un sistema de inyección de combustoleo al inicio de sus operaciones, y que éste dejó de ser utilizado en diciembre de 1979, se decide rehabilitar y rediseñar su sistema para efectuar una co-inyeccion de combustoleo y gas natural, las actividades encaminadas a realizar lo anterior dieron inicio en el mes de enero de 1992, efectuándose todas ellas con recursos propios de la empresa, finalizando el 6 de abril de 1992 día en el cual se inicio la co-inyeccion de combustoleo y gas natural en el alto horno 5.

Se desarrollaron los cálculos necesarios y se elaboro un programa de arranque por etapas del sistema de inyección de combustoleo, determinando la cantidad a inyectar, numero de lanzas y el ahorro de coque esperado como se muestra en la tabla n° 2.

NIVEL INY.	UNIDADES	No LANZAS	COQUE RATE
12.50	Kg/Ton.	8	465
25.00	Kg/Ton.	12	453
40.00	Kg/Ton.	14	438
40.00	Kg/Ton.	19	438
60.00	Kg/Ton.	28	418

TABLA N° 2

Apesar de que el equipo fue instalado aproximadamente hace 17 años, y éste no había sido utilizado, se logro minimizar los problemas durante su arranque y operación actual, con excepciones de los equipos eléctricos y de medición los cuales fueron instalados nuevos.

En abril de 1992 se inició con la práctica de inyección de combustoleo por las toberas inyectando 12.5 kg. de combustoleo / tonelada de arrabio a través de 8 lanzas de inyección y para finales de 1992 la inyección de combustoleo era de 25 kg. / ton de arrabio a través de 12 lanzas lo cual disminuyó el consumo de coque en 19.71 kg. / tonelada de arrabio, siempre manteniendo 3 % de gas natural en la co-inyección.

En vista del éxito alcanzado y en donde los problemas para efectuar la inyección de combustoleo habían sido mínimos, se procedió en 1993 a incrementar el número de lanzas a un total de 14 con rangos de inyección de 30 kg. de combustoleo / tonelada de arrabio, actualmente el alto horno 5 opera con rangos de inyección de 40 - 50 kg. / tonelada de arrabio a través de 21 lanzas de inyección. El ahorro promedio en lo que va de 1993 es de 34.49 kg. de coque / tonelada de arrabio producida como se observa en la figura n° 3

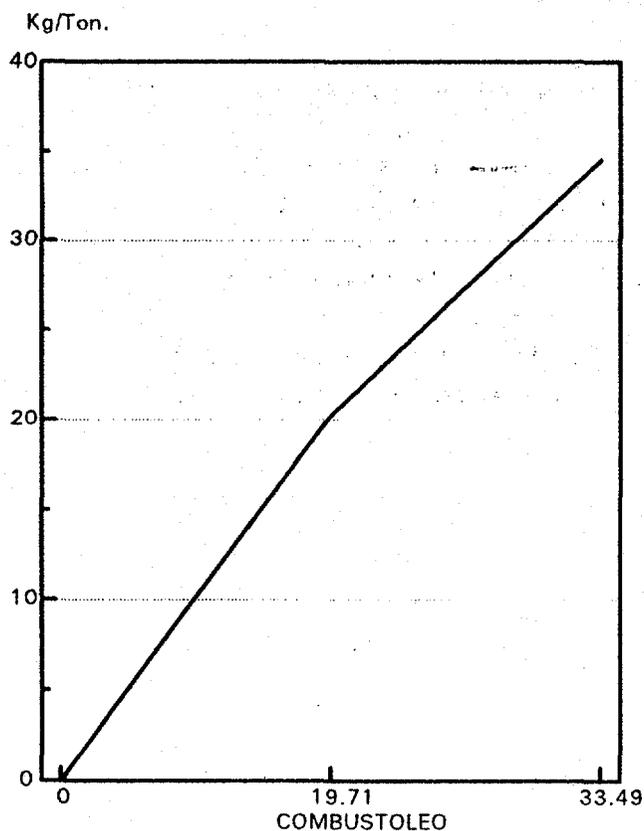


FIGURA N° 3

La inyección de combustibles auxiliares trajo como consecuencia un incremento en la cantidad de oxígeno agregado al soplo para la combustión de éstos en la zona de toberas incrementando la producción del alto horno como se puede observar en figura n° 4.

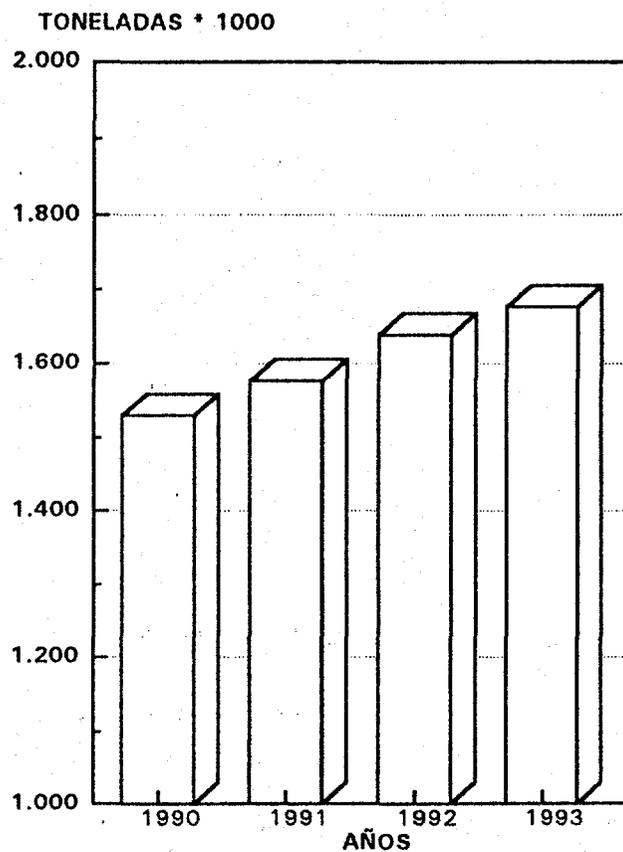


FIGURA N° 4

### III.- RESULTADOS DEL ANALISIS.

El uso de los combustibles auxiliares como lo es el combustoleo y el gas natural inyectados por las toberas del alto horno, la optimización de la operación de las estufas para el logro del incremento de la temperatura de soplo caliente y la adición de coque 10-25 mm. a la carga del horno, constituyen una fuente de energía adicional para el logro de la disminución del consumo de coque estándar y por ende una disminución en los costos de producción en el proceso de fabricación de arrabio. La figura n° 5 muestra el ahorro total de coque obtenido desde 1989 a la fecha.

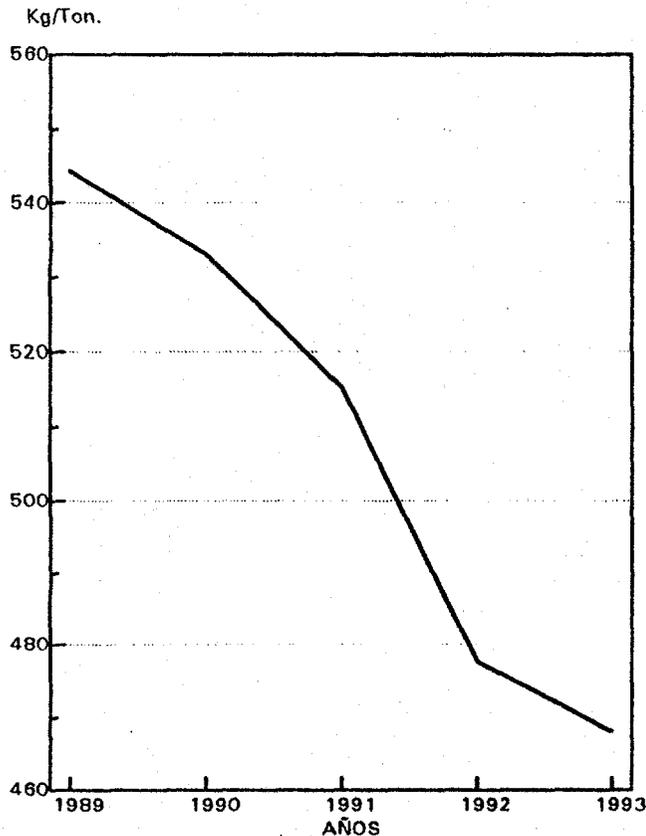


FIGURA N° 5

#### IV.- EVALUACION ECONOMICA.

la tabla n° 3 muestra los resultados obtenidos en cuanto a costos se refiere.

Como se puede observar, se logro una disminucion de N\$ 2.69 / tonelada de arrabio producida en el año de 1990, lo cual representa un ahorro anual de N\$ 4,117,836 esto solo en base al incremento de la temperatura de soplo de 1037 a 1084 °C.

En 1991 se puso en práctica la adición de coque 10-25 mm. a la carga del horno, además la temperatura de soplo fue de 1095 °C, aquí el costo por consumo de coque estándar disminuyo en N\$ 4.01 / tonelada de arrabio comparado con 1990, sin embargo, el costo total sufrió un incremento de N\$ 1.42 / tonelada de arrabio, lo que represento un incremento de N\$ 2,239,732 para este año.

Esto tiene una explicación, el coeficiente de remplazo del coque 10-25 mm. a coque estándar es del 70% en el alto horno, por lo cual es necesario aproximadamente 1.4 toneladas de

coque 10-25 mm. para remplazar una tonelada de coque estándar, tomando en cuenta además que el costo de producción del coque estándar y el 10-25 mm. es el mismo para el alto horno. Los beneficios obtenidos al usar coque 10-25 mm. en la carga del alto horno estarán reflejados en nuestras plantas coquizadoras al incrementar los rendimientos por la máxima utilización del coque producido.

Para el año de 1992, el ahorro obtenido fue de N\$ 18.61 / tonelada de arrabio producido con relación a 1991, lo cual representa un ahorro anual de N\$ 30,513,867. En este año se puso en práctica la inyección de combustoleo por las toberas y la temperatura de soplo caliente fue incrementada de 1095 a 1158 °C.

En 1993 el ahorro es de N\$ 5.35 / tonelada de arrabio con relación a 1992, dando un ahorro anual de N\$ 8,792,393, esto en base al incremento en la cantidad de combustoleo inyectado, y a la disminución de gas natural manteniendo constante la temperatura de soplo caliente.

Como punto final, el ahorro total obtenido desde 1989 a la fecha es del orden de los N\$ 41,194,149, sin embargo la oportunidad de disminuir aún más los costos de producción de arrabio no queda ahí, es necesario continuar trabajando en la optimización del uso de los combustibles auxiliares y en el máximo aprovechamiento de la energía mas barata como los es la temperatura de soplo caliente.

## TABLA COMPARATIVA DE COSTOS

N\$ / TONELADA DE ARRABIO

CONCEPTO	1989	1990	1991	1992 /	1993
TEMP.SOPLO CALIENTE	1.037,00	1.084,00	1.095,00	1.158,00	1.156,00
GAS NATURAL	6,46	6,41	7,21	7,43	7,24
OXIGENO	0,77	0,65	0,80	1,05	1,44
COQUE 10-25 mm	0,00	0,00	4,48	4,85	4,09
COMBUSTOLEO	0,00	0,00	0,00	4,42	6,64
COQUE ESTANDAR	122,47	119,95	115,94	92,07	85,06
COSTO TOTAL *	129,70	127,01	128,43	109,82	104,47
AHORRO N\$/TON	0,00	2,69	-1,42	18,61	5,35
PRODUCCION ANUAL	1.180.671,00	1.530.794,00	1.577.276,00	1.639.649,00	1.643.438,00 +
AHORRO ANUAL	0,00	4.117.836,00	-2.239.732,00	30.513.867,00	8.792.393,00

\* Es el costo de la tonelada de arrabio tomando en cuenta solo los conceptos enlistados.

+ Produccion anual ponderada para 1993

**DESARROLLO Y PUESTA EN OPERACION DE UN SISTEMA DE CO-INYECCION DE ALQUITRAN / GAS NATURAL EN EL ALTO HORNO No.4**

**AUTORES:**

**Ing.MANUEL .I.FALCON RODRIGUEZ  
Ing.HECTOR ROLANDO MATA ESPARZA  
Ing.GERARDO AREVALO BALLESTEROS.**

**ALTOS HORNOS DE MEXICO S.A**

**ABSTRACTO.**

La crisis de energía ha acaparado la atención mundial sobre la necesidad de conservar la energía y desarrollar en un mayor grado el uso de combustibles en base a carbón y otras fuentes de energía (energía nuclear) .Siendo el alto horno no solo un consumidor de energía sino también un generador de la misma (gas alto horno), la mayor contribución al costo de arrabio es la energía necesaria para fundir y reducir al estado metálico los minerales de fierro, dicha energía en su mayoría proviene del coque.

La dependencia del carbón vía planta de coque para producir hierro de primera fusión se incrementa cada día como resultado de los altos niveles de producción.

Altos Hornos de México, contempló dentro de su plan estratégico la disminución de producción de sus plantas coquizadoras derivada del envejecimiento natural de sus hornos, consecuencia de esto se hace inminente el déficit de coque para producciones superiores a 2.6 MMt de arrabio.

La inyección de combustibles al alto horno a través de sus toberas es una tecnología para disminuir el consumo de coque, su uso implica un cambio en la filosofía de operación del alto horno y es actualmente utilizada por la mayoría de los altos hornos del mundo.

AHMSA aprovechando la generación de alquitrán (aprox: 130 ton/día) de sus plantas coquizadoras decide diseñar y poner en operación un sistema de co-inyección de alquitrán y gas natural, las actividades encaminadas a realizar lo anterior dieron inicio el mes de Abril 1993 efectuándose todas ellas con recursos propios de la empresa, finalizando el día 18 de Julio de 1993 día en el cual se inició la co-inyección de alquitran / gas natural en el Alto Horno No.4 en forma estable.

A la fecha (Octubre-1993), la inyección de alquitrán se ha incrementado hasta 36 kg/t. de arrabio, durante los periodos de inyección, la presencia de problemas operativos, mecánicos y de instrumentación no han sido obstáculo para la evolución de la inyección cumpliendo su función de substituir al coque en una relación de remplazo de 1:1, es decir, 1 Kg de alquitrán por cada Kg de coque sin afectar la calidad del producto.

## I.- DESARROLLO DE LA CO-INYECCION

Derivado de la diferencia de manejo operativo que involucra el alquitrán con respecto al gas natural y combustóleo combustibles auxiliares comúnmente

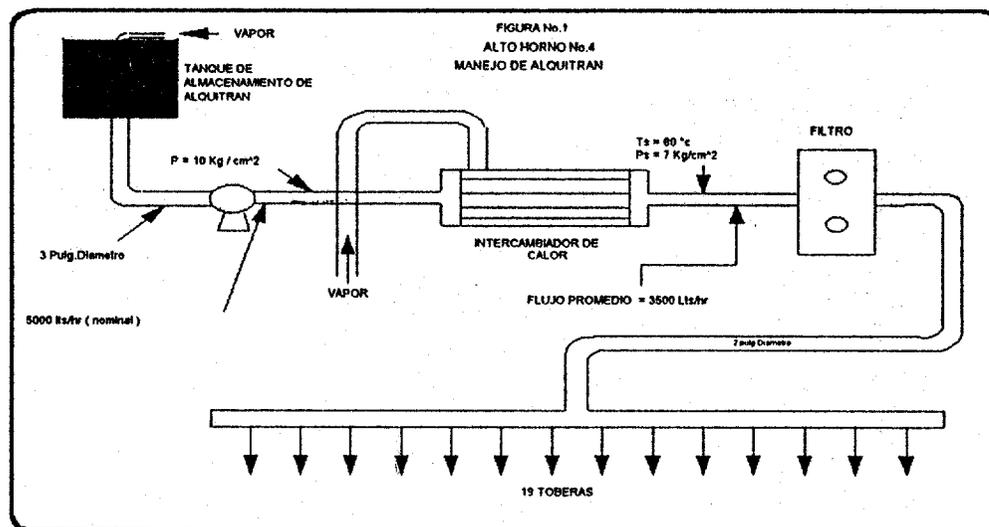
utilizados en AHMSA y con el propósito de conocer los problemas operativos y cuantificar los beneficios que implica el uso de alquitrán, se han realizado diferentes etapas de inyección las cuales se mencionan a continuación :

PERIODO	No.TOBERAS	FECHA	Kg ALO./t.arr
1	9	JULIO	36
2	12	AGOSTO	33
3	12	SEPTIEMBRE	34
4	12	1-15 OCTUBRE	28

Las principales variables y consumos específicos en cada uno de los periodos, comparativamente a los seis primeros meses de 1993, se presentan en la Tabla No.1, mientras que en la Tabla No.2 se muestra la composición química de las materias primas utilizadas.

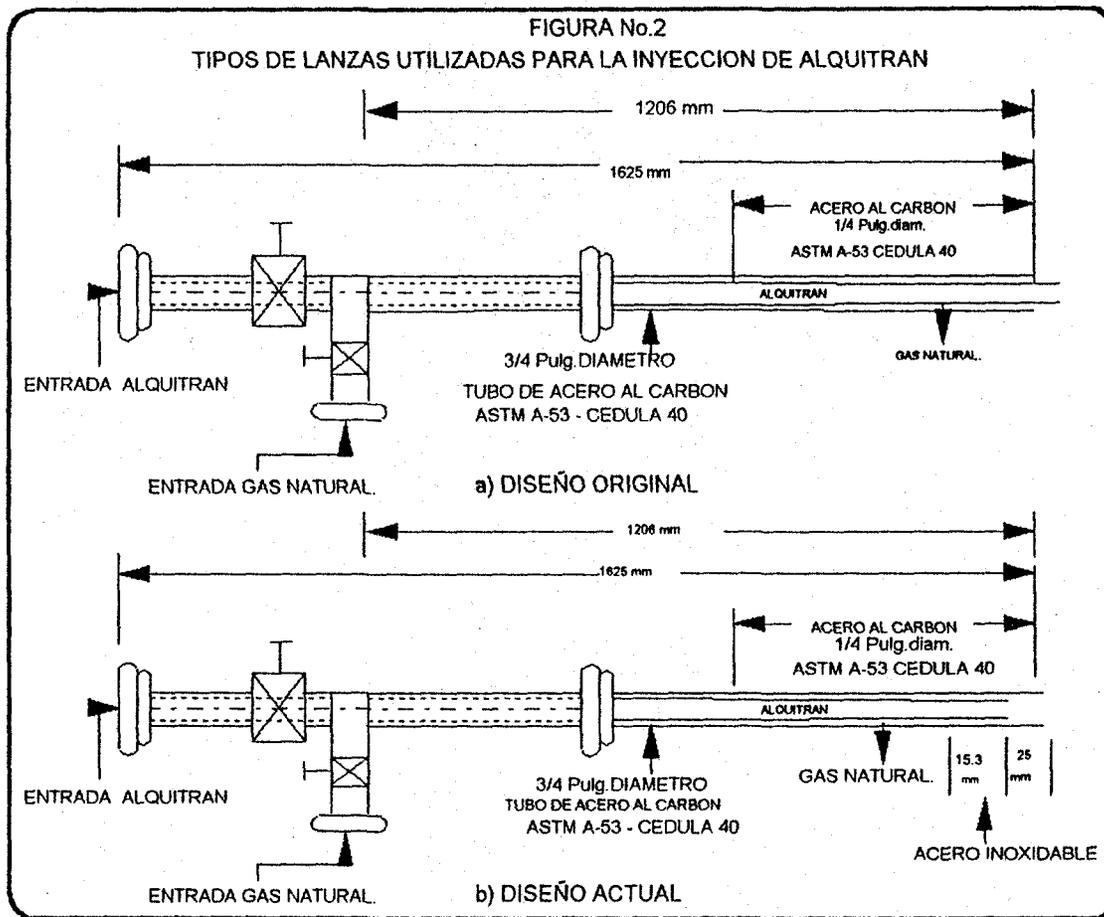
## II.- MANEJO DE ALQUITRÁN Y EQUIPO EN GENERAL.

El alquitrán utilizado es generado en las plantas coquizadoras de donde es transportado vía carro-tanque para posteriormente ser descargado mediante un sistema de bombeo hasta el tanque de almacenamiento el cual en su interior esta provisto de calentamiento mediante vapor. El arreglo general de los principales equipos para el manejo e inyección del alquitrán se muestra en la figura No. 1



Se han diseñado y fabricado dos tipos de lanza para la inyección de alquitrán tales diseños se muestran en la figura No.2,

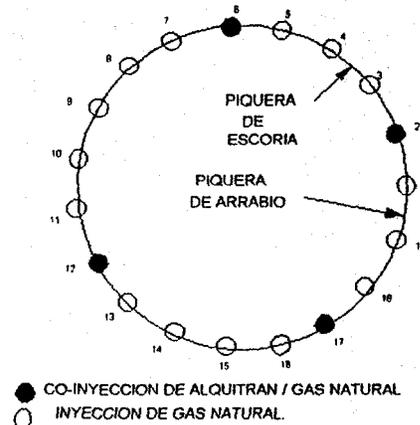
la primera se utilizó en la etapa inicial de prueba pero se quemaban al ser insertadas en la tobera.



El arreglo inicial ( durante el periodo de arranque 18/7/93 ) fue con 4 toberas en las cuales se efectuó la co-inyección de alquitrán / gas natural y su distribución se presenta en al figura No.3, el objetivo principal de este período fue el de asegurar una operación continua de inyección de alquitrán, así como el conocer los problemas potenciales que dicha acción involucra.

Concluida esta primer etapa , se decidió incrementar la capacidad de inyección a 15 Kg de alquitrán / t. arrabio para lo cual se instalaron 2 lanzas mas, conforme se estableció en forma continua, se incremento

**FIGURA No.3**  
**ALTO HORNO No.4**  
**DISTRIBUCION DE TOBERAS DURANTE EL PRIMER PERIODO**

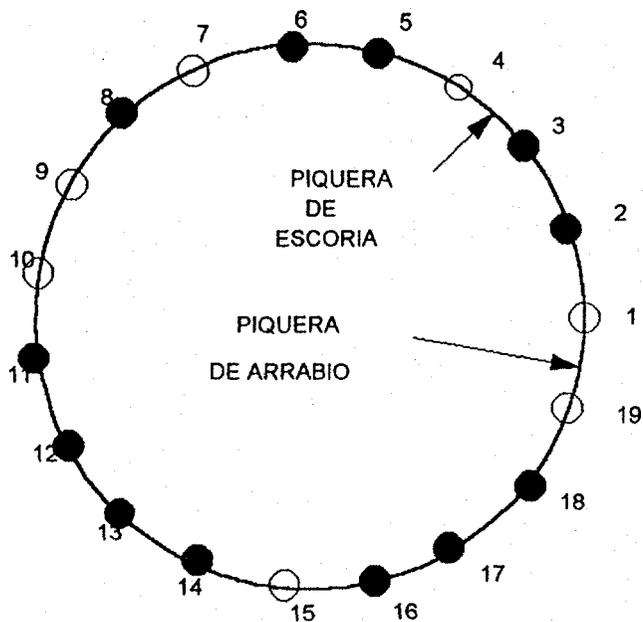


el nivel de inyección lo cual condujo a instalar un mayor numero de toberas para tal fin.

A la fecha el alto horno No.4 esta operando con 12 lanzas para realizar co-inyección de

alquitrán / gas natural y su distribución se muestra en la figura No.4

FIGURA No.4  
ALTO HORNO No.4  
DISTRIBUCION ACTUAL DE TOBERAS



- CO-INYECCION DE ALQUITRAN / GAS NATURAL
- INYECCION DE GAS NATURAL.

Por otra parte la presencia de problemas operativos durante la inyección de alquitrán tales como taponamientos de bayonetas, cambio de bayonetas en operación, control de temperatura del alquitrán, fallas electromecánicas de vapor y bomba de manejo de alquitrán han sido inevitables, las medidas correctivas implementadas han hecho posible que la evolución de la co-inyección de alquitrán / gas se desarrolle con éxito.

### III.- RESULTADOS METALÚRGICOS.

#### 1.- CONSUMO DE COQUE.

Siendo el principal objetivo la disminución de coque rate total, la co-inyección de alquitrán y gas natural lo ha cumplido como se observa en la figura No.5. Por otra parte el comportamiento de algunas variables que influyen sobre el consumo de coque como son : inyección de alquitrán, volumen de escoria, inyección de gas natural y porcentaje de azufre en arrabio se presenta en la figura no.6 en la cual se observa una disminución en el contenido de azufre del arrabio en el segundo periodo de inyección y un incremento en el cuarto periodo resultado principalmente de un incremento en el

contenido de azufre del coque y a una disminución del volumen de escoria e índice de basicidad binaria de la misma.

Para efectos de un análisis comparativo (periodo de inyección Vs Mayo 1993) se realizan cálculos de ajuste de coque para las principales variables que afectan el consumo del mismo como lo son: % de cenizas de coque, % de gas natural, % silicio en arrabio, % azufre en arrabio, % humedad de soplo, volumen de escoria, temperatura de soplo, presión del top y fundentes. Del anterior se obtiene una relación de remplazo de 1.0 Kg. de alquitrán / Kg de coque.

#### 2.- VOLUMEN DE ESCORIA.

El volumen de escoria es afectado directamente por :

- Porcentaje de cenizas del coque.
- Porcentaje de silica ( $\text{SiO}_2$ ) del pelet.

Dicho efecto se muestra en la figura No.7 donde se puede observar una disminución del volumen de escoria conforme disminuye el contenido de ceniza del coque (siendo este el de mayor impacto sobre el volumen de escoria) y el contenido de silica del pelet.

Por otra parte, es de esperarse que al incrementar el consumo de alquitrán y/o gas natural disminuya el de coque, por lo tanto el volumen de escoria disminuye ( a una composición de materia prima constante ), lo anterior se puede observar en la figura No.8 en la que el volumen de escoria disminuye conforme disminuye el coque, a excepción del ultimo periodo de inyección donde el volumen de escoria se incrementa resultado del aumento en el contenido de ceniza del coque.

#### 3.- CALIDAD DEL ARRABIO.

Siendo la calidad del arrabio el punto de atención del alto horno, a la fecha, durante el transcurso de los diferentes periodos de inyección esta no ha presentado graves problemas, la composición química del arrabio y escoria obtenidos en dichos periodos se muestra comparativamente a los periodos de referencia en la tabla No.3.

##### 3.1 AZUFRE.

Durante el desarrollo de la inyección, el contenido de azufre en arrabio se vio incrementado durante los meses de MARZO a MAYO de 1993 para después disminuir

hasta el primer periodo de inyección y aumentar nuevamente a partir del tercer periodo. Tales fluctuaciones del contenido de azufre en el arrabio son derivadas por variaciones en distintos parámetros operativos como los son:

- Volumen de escoria
- Índice de basicidad binaria ( IB2 ) de la escoria.
- Contenido de azufre del coque
- Temperatura de arrabio.

Su efecto se muestra en la figura No.9 en la que se observan desviaciones ocasionadas principalmente por variaciones en el índice de basicidad binaria de la escoria y contenido de azufre del coque.

### **3.2 SILICIO**

El contenido de silicio en arrabio en la mayoría de los periodos de co-inyección presentó variaciones significativas( no atribuibles a la inyección de alquitran) . Su comportamiento en función de algunos de los parámetros que lo influyen, como el índice de basicidad binaria del pelet, volumen de escoria, temperatura de arrabio y temperatura de flama se muestra comparativamente para los primeros seis meses del año en la figura No.10 observándose una relación estrecha entre el silicio del arrabio y la temperatura del mismo.

### **IV.- CONCLUSIONES**

- 1.- La co-inyección de alquitran y gas natural en el alto horno No.4 ha cumplido con su objetivo de substituir coque, obteniendo durante los periodos de inyección de alquitran relaciones de remplazo de 1.0, es decir 1.0 Kg alquitran por 1.0 Kg de coque.
- 2.- La influencia del alquitran en la calidad del arrabio no ha sido significativa.
- 3.- La presencia de problemas operativos no ha sido obstaculo para realizar la co-inyección de alquitran / gas natural.

### **V.- RECOMENDACIONES**

- 1.- Continuar con el monitoreo de los principales parámetros de operación para con esto corroborar la relación de remplazo obtenida.
- 2.- Continuar con la inyección de alquitran a niveles de hasta 60 Kg/ t. arrabio , siempre y

cuando su costo no sea superior al del gas natural y / o al de coque.

3.- Continuar con la instalación del nuevo sistema de recepción de alquitran y evitar con esto pérdida de presión y temperatura durante el transporte del alquitran.

### **VI. -AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo agradecen a los ingenieros:

Ariel García, José Cervantes, Adrian García, Gerardo García, Juan A. Lopez , y Roberto Ramirez G. sus valiosos comentarios al presente trabajo

TABLA No.1  
ALTO HORNO No.4  
CONSUMOS ESPECIFICOS Y PRINCIPALES VARIABLES OPERATIVAS

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEP.	OCTUBRE
AÑO	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993
<b>CONSUMOS ESPECIFICOS ( Kg / ton. arr. )</b>										
COQUE STD.	516.60	496.80	527.00	527.40	519.90	534.10	508.70	493.20	501.40	508.26
COQUE ( 15-25 )	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PELET	1086.00	945.00	1101.00	1260.00	1260.00	1069.00	1020.00	1084	1051.00	970.68
SINTER	521.00	601.00	547.00	333.00	333.00	560.00	487.00	415.00	412.00	505.06
OTROS MIN.FIERRO	0	64	4	2	0	2	107	95	2.39	13.16
MIN. MANGANESO	15.36	13.19	11.50	16.38	13.40	11.69	11.23	11.30	10.37	51.70
DOLOMITA	68.17	57.91	76.80	72.47	77.34	55.22	74.40	73.42	45.03	51.70
DUNITA	12.36	4.45	5.90	11.55	6.51	12.85	7.47	6.11	17.37	6.68
<b>SOPLO</b>										
<b>VARIABLES DE OPERACION</b>										
FLUJO (Nm3/min)	2024	2066	2056	1987	1999	2016	2024	2041	2060	2082
PRESION (Kg/cm2)	1.94	1.99	1.94	1.97	1.97	1.90	1.90	1.90	1.98	1.94
TEMPERATURA (°C)	1074	1069	1071	1065	1095	1061	1083	1094	1098	1100
GAS NATURAL (Nm3/t.arr)	61.50	51.30	58.60	46.3	43.9	49.4	44.5	43.9	45.5	35.46
OXIGENO (Nm3/t.arr)	12.43	15.64	20.16	15.75	13.97	13.55	11.10	12.40	13.40	11.18
ALQUITRAN (Kg/t.arr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	33.30	33.60	28.51
HUMEDAD ( gr/Nm3 )	23.0	28.0	26.0	28.0	27.0	26.0	23.6	21.1	20.0	18.95
T.FLAMA C/ G.N (°C)	2088	2075	2077	2091	2092	2083	2098	2121	2118	2129
T.FLAMA C/ ALQ.(°C)	0	0	0	0	0	0	2171	2197	2203	2218
<b>TRAGANTE</b>										
PRESION (Kg/cm2)	0.55	0.57	0.63	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60	0.59	0.6
TEMPERATURA (°C)	190	194	209	154	154	163	168	182	208	184
GAS CO ( % )	20.20	19.90	21.60	19.20	19.20	19.60	18.30	19.50	21.20	20.7
GAS CO2 ( % )	19.30	19.30	18.20	19.00	19.00	18.60	18.60	19.60	19.60	21.2
GAS H2 ( % )	5.38	5.19	5.75	4.46	4.46	4.30	4.60	4.58	5.00	4.53
EFICIENCIA GAS ( % )	48.90	47.90	45.70	49.80	49.80	50.00	50.40	50.10	48.00	
<b>ARRABIO Y ESCORIA</b>										
SILICIO ( % )	1.07	0.89	0.73	0.85	0.99	1.08	0.79	0.92	1.22	0.978
AZUFRE ARRABIO ( % )	0.03	0.035	0.025	0.045	0.04	0.03	0.031	0.027	0.036	0.035
TEMP. ARRABIO (°C)	1470	1469	1469	1470	1475	1475	1473	1476	1466	1471
IB2 ESCORIA	1.05	1.06	1.09	1.02	0.99	1.01	1.05	1.04	0.98	1.00
VOL. ESCORIA (Kg/t.arr)	329	346	307	295	299	299	286	276	256	274
ELIM. K2O ( % )	75.00	97.00	88.00	74.00	79.00	79.00	79.00	79.00	77.00	79
PRODUCCION (t/dia op.)	1960	1933	1911	1999	2098	2139	2203	2140	2074	2282

TABLA No.2  
ALTO HORNO No.4  
COMPOSICION QUIMICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS (1993)

PERIODO	E	F	M	A	M	J	JUL.	AGOSTO	SEP.	OCT.
<b>PELET</b>										
% SiO <sub>2</sub>	5.42	5.89	4.81	4.49	4.66	4.07	4.31	4.19	4.53	4.04
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77	0.66	0.60	0.66	0.57	0.58	0.63	0.59	0.72	0.72
% CaO	5.43	5.77	4.93	4.58	4.69	4.15	4.52	4.33	4.65	4.74
% MgO	1.81	1.77	1.38	1.31	1.28	1.23	1.34	1.30	1.41	1.34
% S	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
% P	0.16	0.17	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.12	0.13
% Mn	0.07	0.07	0.05	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
% FeT	60.65	59.50	60.70	61.60	61.53	61.70	62.21	61.21	60.93	61.54
% TiO <sub>2</sub>	0.23	0.20	0.20	0.20	0.20	0.28	0.22	0.21	0.24	0.24
INDICE BASICIDAD (IB <sub>2</sub> )	1.01	0.98	1.02	1.02	1.01	1.02	1.05	1.03	1.02	1.07
<b>SINTER</b>										
% SiO <sub>2</sub>	5.46	5.64	4.22	3.81	3.62	4.05	4.28	4.12	3.84	4.11
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25	1.29	1.06	0.92	0.89	1.08	1.12	1.04	1.03	1.12
% CaO	11.85	12.42	9.54	8.89	8.78	10.39	11.04	10.41	9.37	10.25
% MgO	1.77	2.32	2.52	2.20	2.38	2.27	2.21	2.35	2.26	2.38
% S	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.04	0.041
% P	0.106	0.128	0.078	0.075	0.066	0.073	0.089	0.095	0.062	0.082
% FeT	56.50	55.10	57.50	58.75	58.71	57.50	56.83	56.87	57.89	57.73
INDICE BASICIDAD (IB <sub>2</sub> )	2.17	2.20	2.26	2.33	2.43	2.57	2.58	2.53	2.25	2.49
<b>COQUE</b>										
% CARBON FIJO	81.90	82.27	81.76	82.17	81.76	81.66	81.96	82.08	81.96	82.26
% MATERIA VOLATIL	1.51	1.11	1.17	1.26	1.38	1.27	1.23	1.40	1.30	1.08
% CENIZAS	16.50	16.60	17.10	16.55	16.84	17.05	16.79	16.49	16.23	16.6
ESTABILIDAD	59.11	59.44	60.70	61.07	61.25	61.66	62.07	61.79	61.28	61.47
DUREZA	69.10	69.89	70.38	70.32	70.36	70.84	70.91	70.81	71.16	70.92
% S	1.07	1.21	0.93	0.91	0.92	0.91	0.97	0.95	1.29	1.05
<b>CENIZAS DE COQUE</b>										
% SiO <sub>2</sub>	10.97	10.07	10.31	10.69	10.25	10.47	10.73	9.69	10.51	10.42
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.26	3.26	3.41	3.33	3.51	3.42	3.27	3.16	3.40	3.4
% CaO	0.41	0.40	0.54	0.39	0.36	0.41	0.35	0.33	0.32	0.288
% MgO	0.15	0.15	0.17	0.17	0.16	0.20	0.14	0.14	0.19	0.155
% FeT	1.08	1.08	1.41	1.28	1.27	1.17	1.14	1.31	1.19	1.1
<b>DOLOMITA</b>										
% SiO <sub>2</sub>	0.77	0.82	0.51	0.57	0.57	0.57	0.71	0.66	0.78	0.631
% CaO	35.72	35.40	34.87	35.89	35.89	35.53	34.91	35.84	36.88	37.12
% MgO	16.01	16.82	15.76	16.32	16.32	16.46	16.64	15.83	15.34	14.92
<b>MINERAL DE MANGANESO</b>										
% SiO <sub>2</sub>	10.29	10.27	11.47	9.15	9.15	10.61	10.17	10.50	10.48	9.10
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04	2.19	2.16	2.11	2.11	2.06	2.14	2.36	2.26	2.36
% CaO	9.56	8.59	8.54	8.06	8.06	9.47	9.09	7.69	8.00	7.69
% MgO	6.25	6.53	5.90	5.30	5.30	5.62	6.09	5.47	6.25	6.71
% Fe	5.08	5.40	5.78	5.10	5.10	4.97	4.69	5.23	5.40	5.48
% Mn	26.97	24.40	23.90	25.23	25.23	27.73	26.80	25.00	26.33	26.20

TABLA No.3  
ALTO HORNO No.4  
COMPOSICION QUIMICA DE ARRABIO Y ESCORIA

PERIODO	E	F	M	A	M	J	JUL	AGOSTO	SEP.	OCTUBRE
---------	---	---	---	---	---	---	-----	--------	------	---------

COMPOSICION QUIMICA DE ARRABIO

PARAMETRO	E	F	M	A	M	J	JUL	AGOSTO	SEP.	OCTUBRE
% Si	1.070	0.770	0.910	0.850	0.990	1.080	0.792	0.922	1.220	0.978
DESV.STD. DE Si.	0.380	0.360	0.310	0.330	0.290	0.350	0.220	0.225	0.392	0.224
% S	0.030	0.035	0.025	0.045	0.040	0.030	0.031	0.027	0.036	0.035
% C	4.330	4.220	4.430	4.260	4.460	4.430	4.440	4.480	4.340	4.44
% P	0.190	0.200	0.180	0.170	0.210	0.200	0.196	0.202	0.206	0.207
% Mn	0.410	0.350	0.350	0.360	0.360	0.360	0.350	0.366	0.374	0.417
TEMP.ARRABIO ( °C )	1470	1469	1469	1470	1475	1475	1472	1475	1466	1471

COMPOSICION QUIMICA DE ESCORIA

% SiO <sub>2</sub>	36.10	35.80	35.45	35.75	36.02	35.97	35.51	35.78	36.13	36.13
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.38	9.92	10.13	10.59	10.49	11.06	10.39	10.18	11.26	11.16
% CaO	37.60	38.02	37.71	36.32	35.75	36.43	37.49	37.26	35.49	36.29
% MgO	13.17	12.37	13.40	13.64	13.58	12.72	12.57	12.80	12.94	12.34
% S	1.59	1.63	1.46	1.45	1.44	1.49	1.53	1.44	1.40	1.37
INDICE BASICIDAD (IB2)	1.05	1.06	1.09	1.02	0.99	1.01	1.05	1.04	0.98	1
VOL.ESCORIA (Kg/t.arr)	329	346	307	295	299	299	286	276	256	274

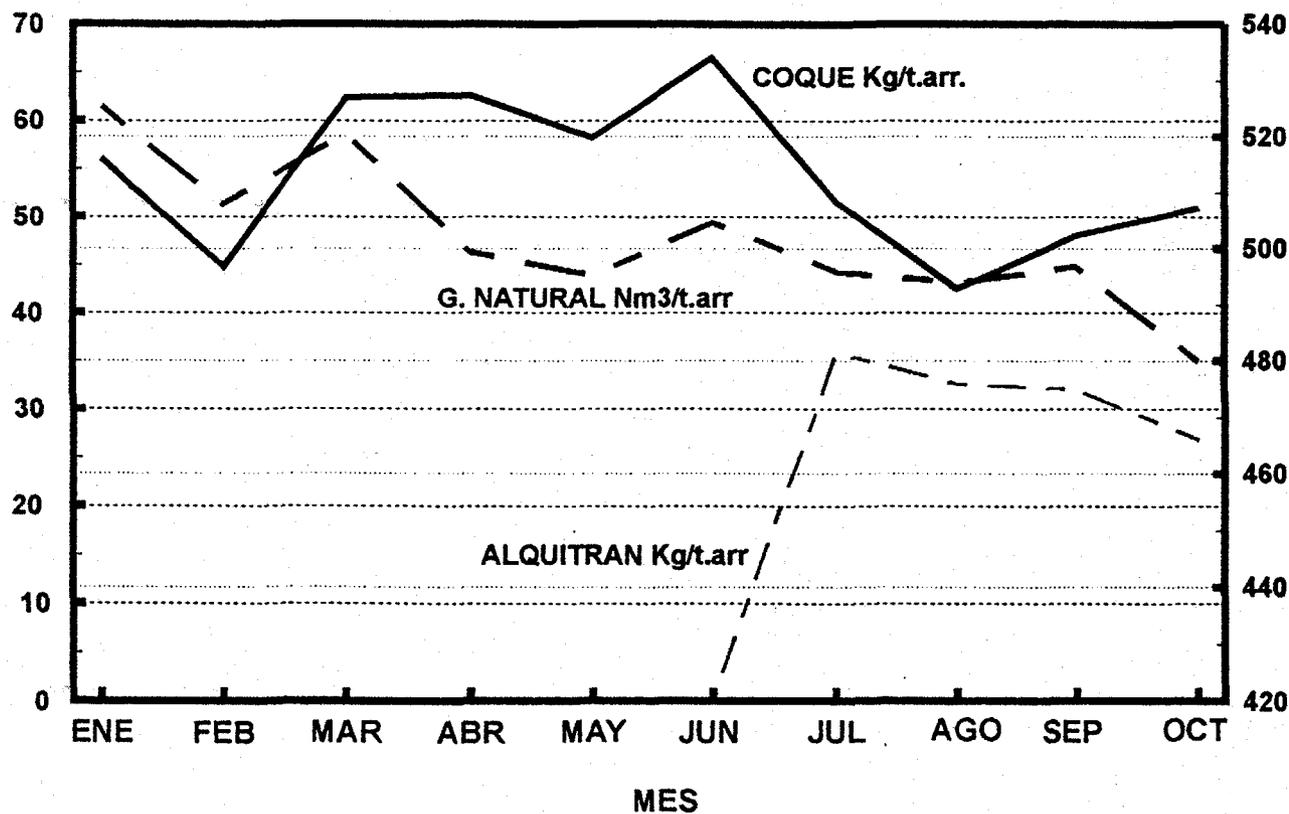


FIGURA No.5  
ALTO HORNO No.4



COMPORTAMIENTO DE LA INYECCION DE ALQUITRAN

COMBUSTIBLES AUXILIARES



COQUE RATE TOTAL Kg / t.arr



FIGURA No.6  
ALTO HORNO No.4



COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL CONSUMO DE COQUE

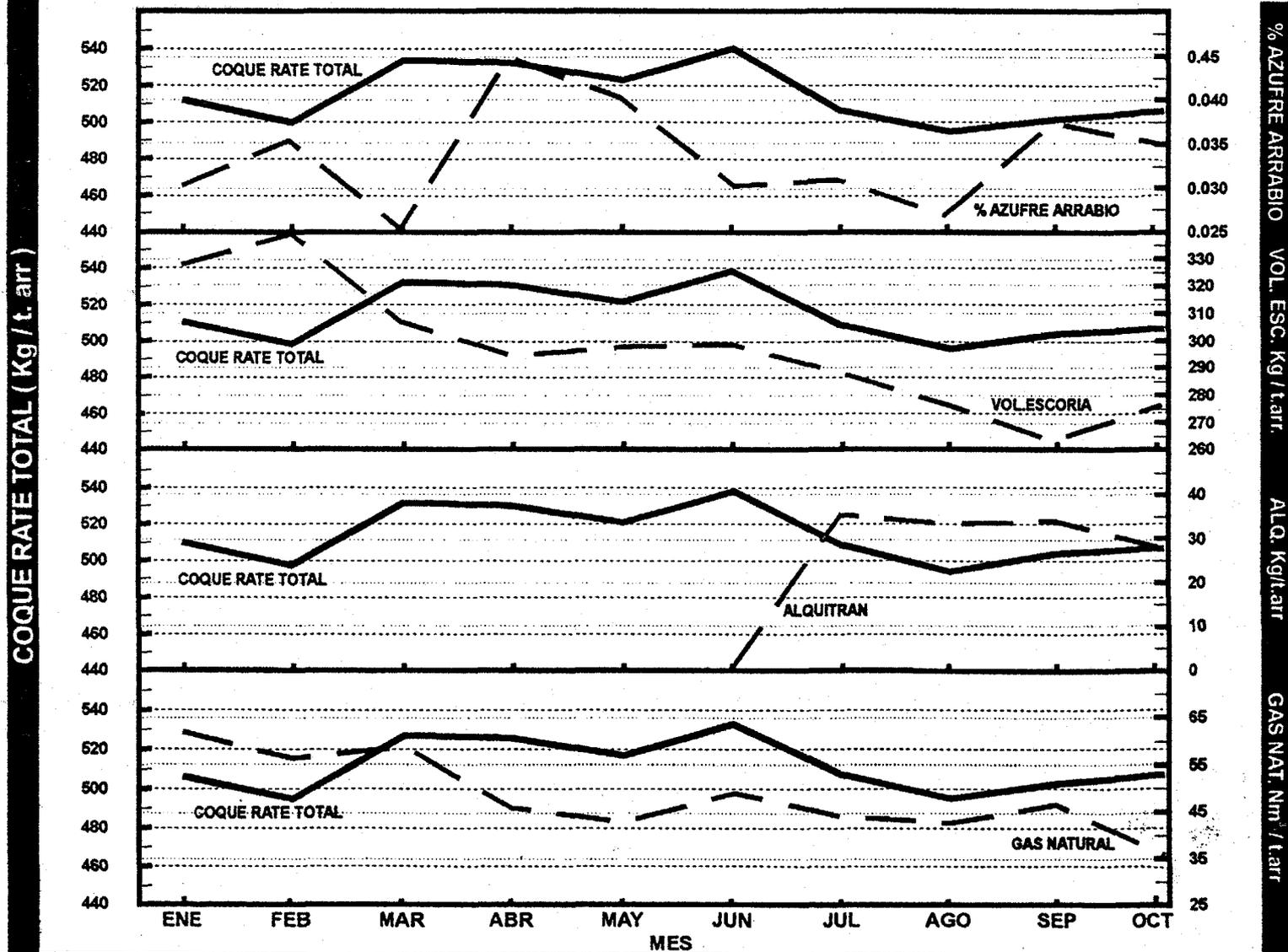




FIGURA No.7  
ALTO HORNO No.4



PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN EL VOLUMEN DE ESCORIA

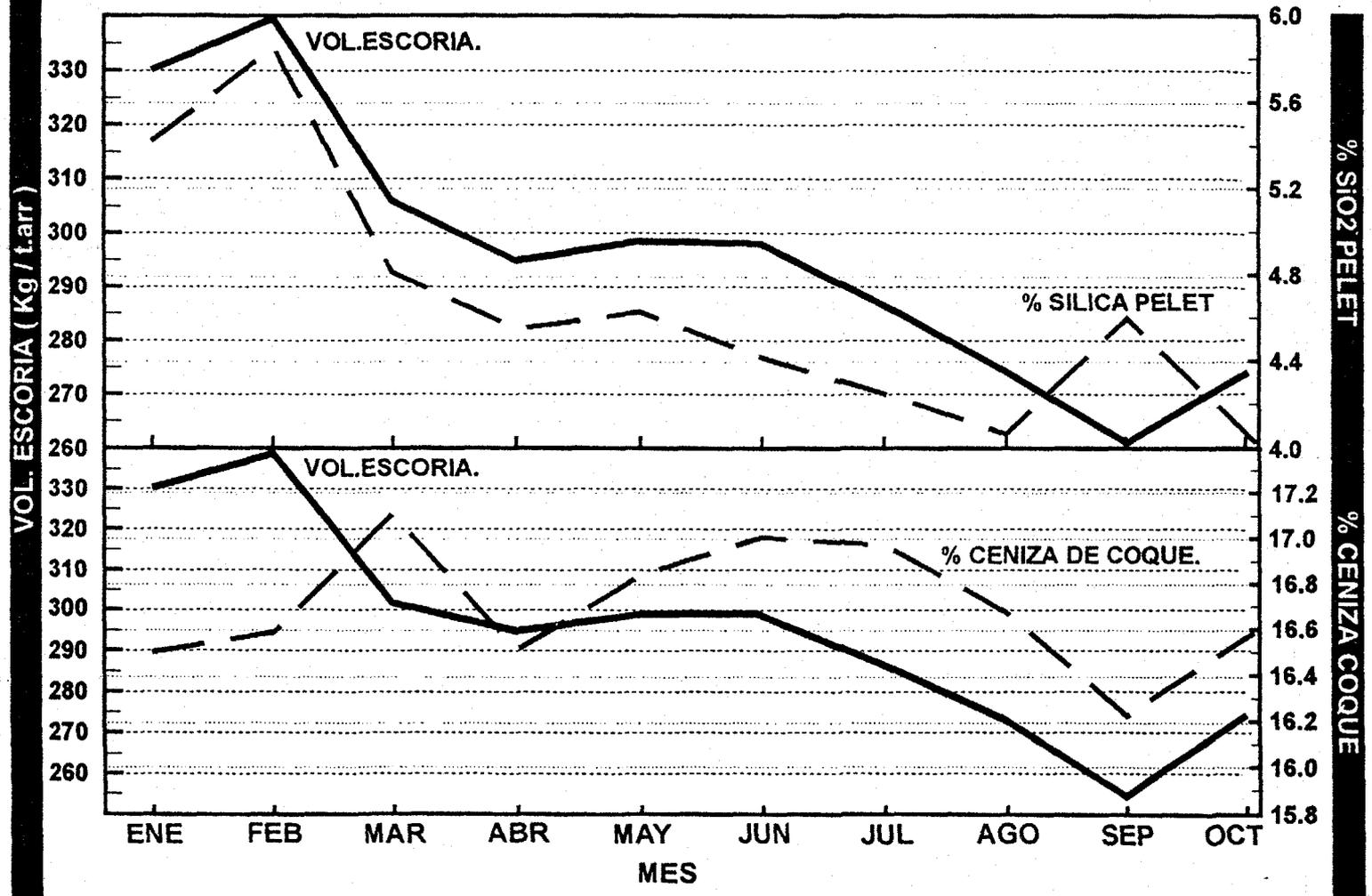




FIGURA No.8

ALTO HORNO No.4

INFLUENCIA DEL CONSUMO DE COQUE RATE TOTAL Y ALQUITRAN  
SOBRE EL VOLUMEN DE ESCORIA

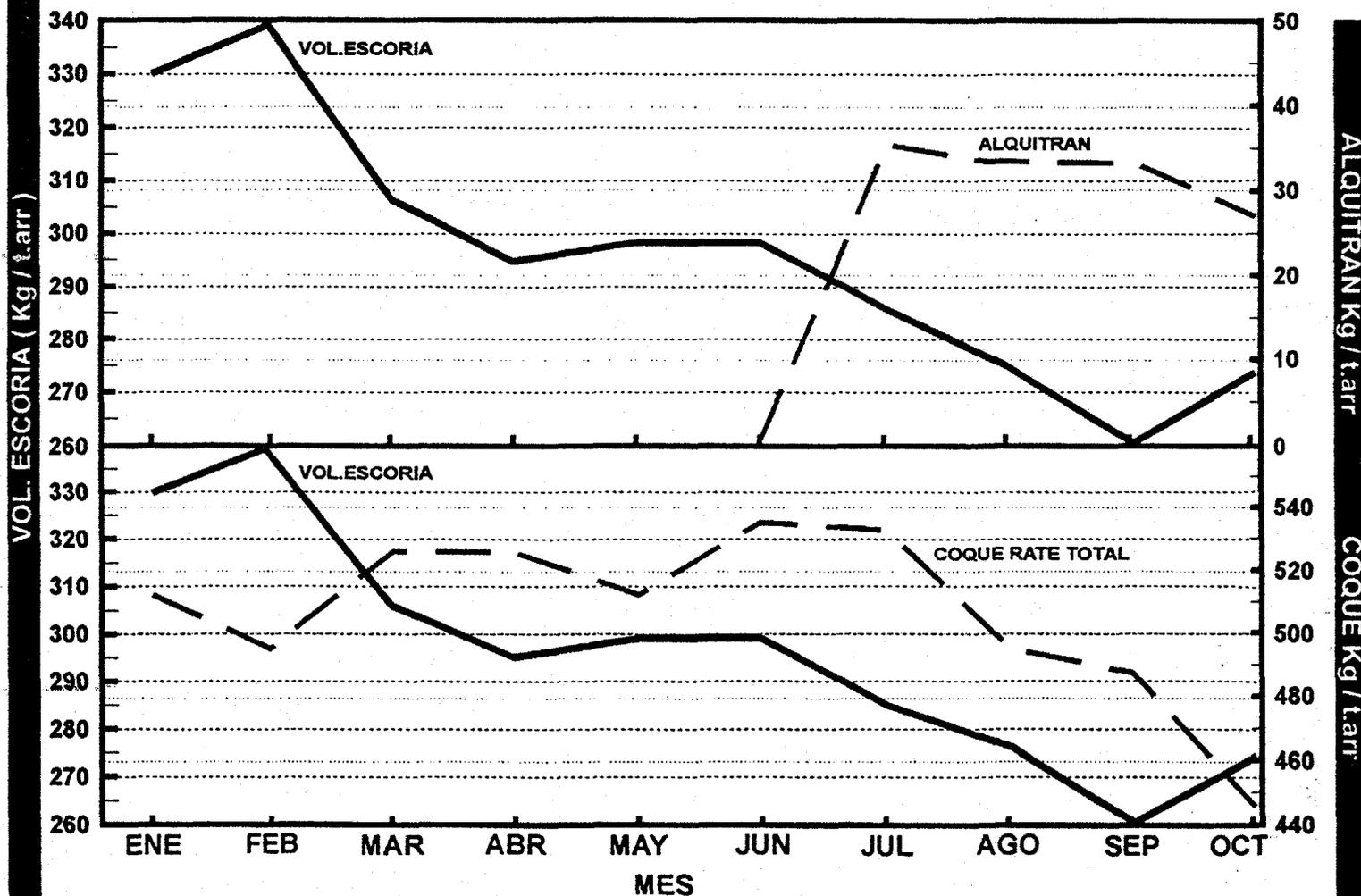




FIGURA No.9  
ALTO HORNO No.4



COMPORTAMIENTO DEL AZUFRE DEL ARRABIO

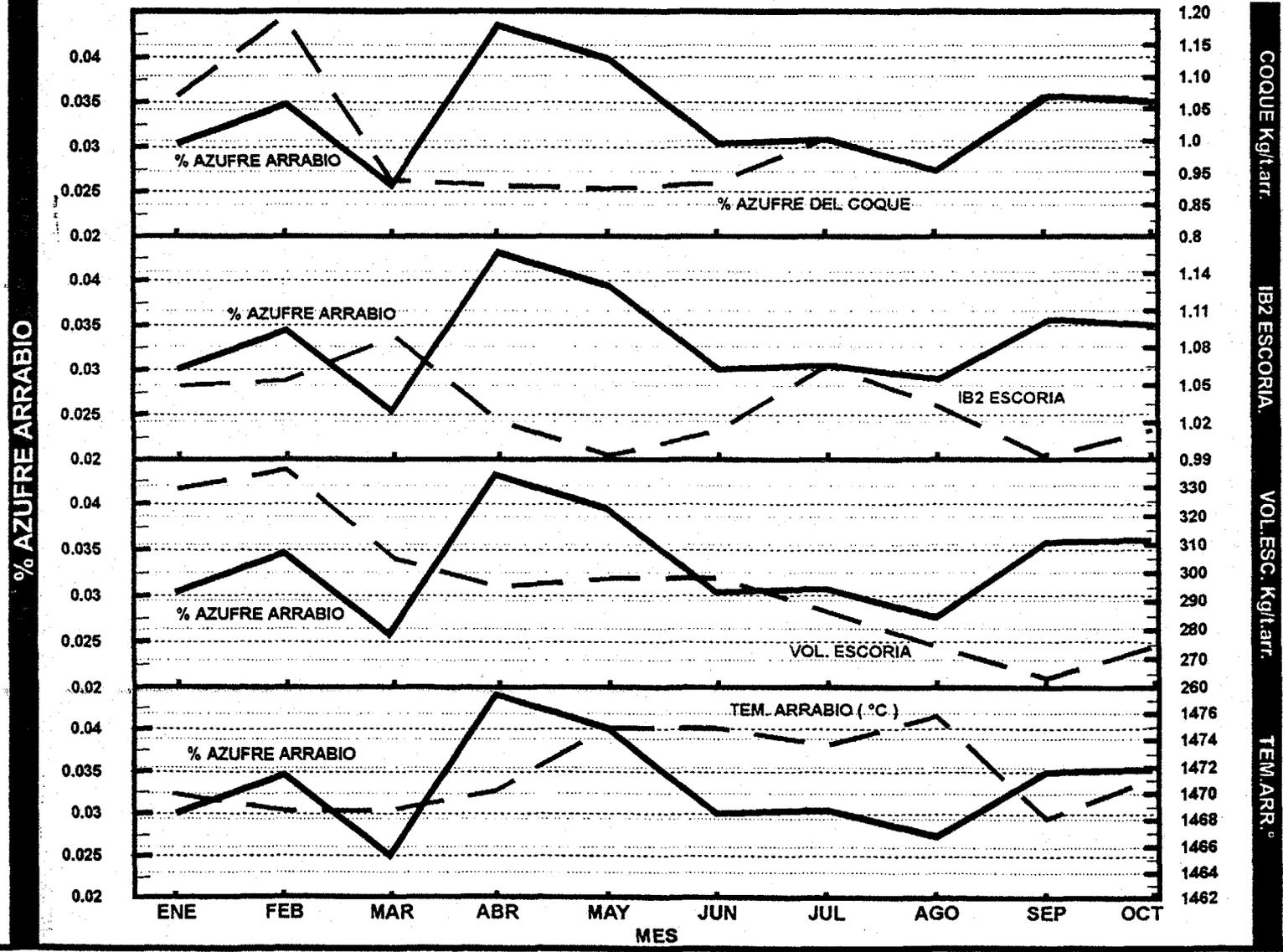
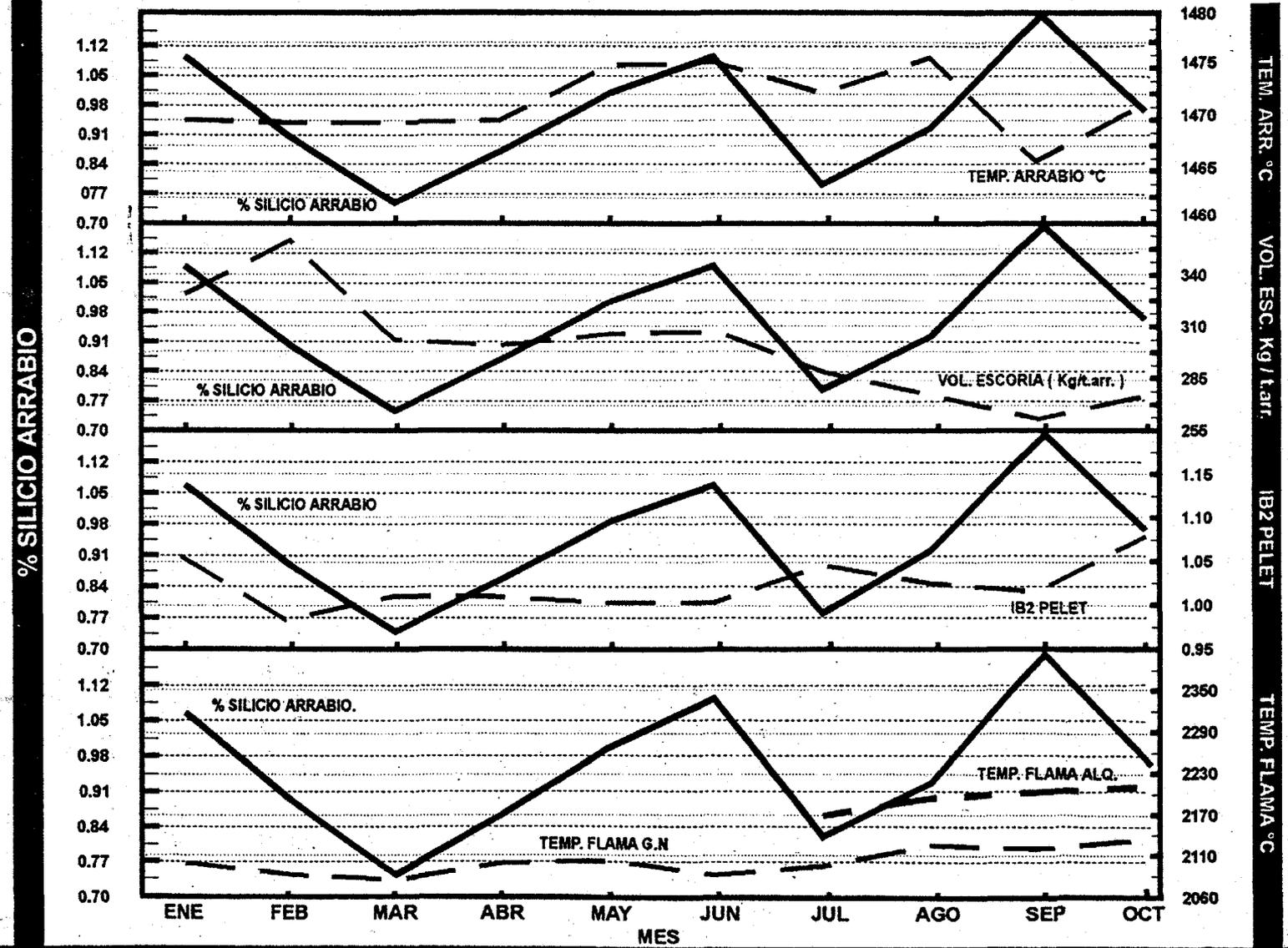




FIGURA No.10  
ALTO HORNO No.4



COMPORTAMIENTO DEL SILICIO DEL ARRABIO



FALLAS Y PERDIDAS DE ENERGIA EN CONTACTOS ELECTRICOS

Neagu Bratu Serban

Eduardo Campero Littlewood

Departamento de Energía,  
Unidad Azcapotzalco,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Av. San Pablo No. 180  
Col. Reynosa Tamaulipas  
02200 México, D.F.

RESUMEN

En este artículo se hace una breve descripción del comportamiento de los contactos eléctricos y de los elementos que influyen en la generación de calor durante su operación. Se presentan las expresiones con las que se describe matemáticamente este fenómeno. Se evalúan las pérdidas que pueden llegar a tenerse en los contactos y se incluyen gráficas donde puede verse el comportamiento de estos en diferentes condiciones de operación.

INTRODUCCION

La unión de dos elementos metálicos entre sí para cerrar un circuito eléctrico constituye un contacto.

Los contactos eléctricos se pueden clasificar en dos grandes categorías; fijos y móviles. Los primeros se refieren a los que unen terminales, ya sea entre sí o con otros elementos de la instalación eléctrica. También se les conoce como conexiones, y se presentan por lo general, como tornillos a presión, clavijas, "colas de ratón", zapatas, uniones traslapadas, conexiones soldadas, y varias otras. Los móviles son los contactos de los aparatos que pueden conectarse y desconectarse, o que sirven para cerrar y abrir circuitos en operación normal.

La resistencia eléctrica es la

característica más importante del contacto. El valor de esta resistencia depende de varios factores como: el material del que están fabricadas las partes del contacto, el acabado de las superficies de contacto, la presencia de impurezas o capas de óxidos y la fuerza de presión. El material comercial que se comporta mejor para aplicaciones de contactos eléctricos es la plata, ya que tiene características mecánicas y eléctricas adecuadas además de que sus óxidos son conductores.

La resistencia del contacto, como cualquier otra resistencia que se opone al paso de la corriente, crea pérdidas de energía que se transforman en calor por el efecto Joule y provocan un aumento en la temperatura que puede llegar hasta provocar la fundición del contacto.

## RESISTENCIA DE CONTACTO

El problema de los contactos es bien conocido y su teoría ha sido estudiada desde hace tiempo, al respecto existen varios autores que se dedicaron a esta tarea [1,3,4,5]. El análisis se hace normalmente para un contacto metálico puro, o sea sin impurezas ni óxidos.

Al cerrar un contacto eléctrico juntando dos elementos metálicos (entre si) se crea primeramente un contacto puntiforme, donde se estrangula el flujo de corriente y aumenta la densidad local. En el contacto puntiforme las líneas equipotenciales en los elementos de contacto, en la zona de contacto son de forma esférica.

La fuerza de presión y el aumento de la temperatura hacen que aumente la superficie de contacto por el ablandamiento del material, que se transforma en una mancha circular. Esto implica que las líneas equipotenciales se convierten en elipsoides.

Entonces dependiendo de la geometría se establecen relaciones para calcular la resistencia de contacto, en función del volumen involucrado, de la resistividad de los materiales y la fuerza aplicada.

Por ejemplo, Hortopan (1) para el caso de la resistencia de contacto entre una esfera y un plano establece la siguiente relación:

$$R = C_1 \times F^{-\frac{1}{3}}$$

donde  $C_1$  es una constante del material y  $F$  es la fuerza de presión en newtons, para el cobre:

$$C_1 = \frac{\rho}{2.2} \times \sqrt[3]{\frac{E}{r}}$$

donde  $E$  es el módulo de elasticidad,  $r$  el radio de la esfera y  $\rho$  la resistividad específica del material del contacto.

La gráfica de la figura 1 muestra los valores de resistencia que se obtuvieron utilizando estas expresiones para diferentes fuerzas de presión en el contacto.

De manera similar se establecen relaciones para la resistencia de contacto de otras geometrías y otros materiales (referencias).

La elevación de temperatura de los contactos puede calcularse por medio de expresiones propuestas por diferentes autores. Sin embargo, para contactos operando en condiciones normales la diferencia de temperatura entre el contacto y la masa del resto del conductor resulta insignificante (aproximadamente 5°C). Por esta razón no se considera relevante incluir este concepto en el total de pérdidas de la instalación eléctrica.

## FALSOS CONTACTOS

Un falso contacto es aquel cuya fuerza de presión es insuficiente para realizar un contacto adecuado. Estos pueden surgir por defectos en la construcción de la instalación, por defectos en los aparatos consumidores de energía eléctrica, por defectos de fabricación en los materiales eléctricos (conductores, contactos, clavijas y conectores), por mantenimiento u operación deficiente y por uso normal o envejecimiento de las instalaciones. A continuación se señalan algunas causas de falsos

contactos:

a) Las vibraciones del equipo pueden producir el aflojamiento de tornillos y tuercas o la fractura de la soldadura en la unión. Por esta razón siempre que sea posible deberá utilizarse soldadura (la adecuada para cada aplicación) o usar rondanas de presión en todos los tornillos y tuercas para tener la certeza de que la fuerza aplicada se mantiene .

b) El envejecimiento normal de la instalación hace que se pierda el brío de los resortes y se desgasten los contactos, además los ciclos de calentamiento y enfriamiento a que están sometidas las uniones (dilataciones y contracciones) provoca el aflojamiento de las uniones o grietas en la soldadura, lo que permite la oxidación de los materiales y consecuentemente disminuye la superficie de contacto. La revisión y corrección de estos problemas deben estar contempladas en el programa de mantenimiento sobre todo en los equipos de conexión y desconexión.

c) Las uniones defectuosas pueden surgir cuando están hechas con metales que tengan diferentes coeficientes de dilatación o por el uso de tornillos que no tienen la resistencia mecánica suficiente para que la fuerza aplicada a la unión sea la adecuada o por tratarse de conductores que han sido simplemente enrollados uno sobre el otro (uniones tipo "cola de ratón").

d) Los conductores flexibles de aparatos móviles pueden trozarse y perder continuidad en parte de su sección transversal. Donde no sea posible evitar el uso de conductores flexibles debe cuidarse que estos sean de tipo multifilar (de hilos muy

delgados) y con aislamiento reforzado.

#### CONSECUENCIAS DE UN FALSO CONTACTO

En el mejor de los casos un falso contacto de una terminal o en un equipo conduce a un funcionamiento errático o a una interrupción permanente de la corriente (sobre todo en los circuitos de tensiones menores a 100 volts). El aumento de temperatura en el contacto provoca un sobrecalentamiento local que puede llegar a fundir el contacto. El material fundido puede encontrar materiales combustible e iniciar un incendio. Por otra parte si el conductor no llega a fundirse la temperatura alta deteriora a los aislamientos que pierden sus cualidades aislantes y mecánicas, volviéndose relativamente conductores y quebradizos. El calor radiado por el falso contacto puede llegar a afectar a otros elementos del equipo que pueden ser dañados por el calor. La reparación de falsos contactos es normalmente sencilla lo difícil es localizarlos.

Las pérdidas de energía en falsos contactos pueden estimarse mediante la obtención de la resistencia para diferentes fuerzas de presión en la expresión:

$$W = \int RI^2 dt$$

En la gráfica de la figura 2 se presentan los resultados de los cálculos elaborados para diferentes porcentajes de fuerza de presión sobre el contacto. En esta gráfica puede verse que la energía disipada por el aumento de la resistencia es considerable para los casos en que las partes

del contacto eléctrico están simplemente sobrepuestas (sin fuerza de presión).

#### CONCLUSIONES

Los contactos que están en buen estado tienen una pérdida de energía que es prácticamente la misma que tendría un tramo de conductor del circuito.

La fuerza de presión que mantiene unido el contacto es determinante en las pérdidas y por consecuencia en la temperatura local de operación de los materiales del contacto.

El aumento de resistencia que se presenta en las uniones defectuosas no sólo significa un aumento importante en las pérdidas por efecto Joule sino que incrementa el peligro de falla del equipo o lo que es peor la posibilidad de que se produzca un incendio.

Los falsos contactos pueden evitarse si se tiene cuidado de vigilar: que los equipos y materiales adquiridos cumplan con las especificaciones, que las condiciones de operación sean las adecuadas a cada tipo de unión, que el programa de mantenimiento contemple la revisión de contactos (apriete de tornillos, estado de las soldaduras, equipos de conexión y desconexión y brío de los resortes) y que de preferencia no haya uniones de los conductores a lo largo de su recorrido.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Hortopan, Ch. y otros. Aparate electrice de joasa tensiune (Aparatos Eléctricos de Baja Tensión). Editura Tecnica, Bucarest, 1969.

2. Bratu y Campero. Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y

Diseño. 2da. Edición. Alfaomega, 1992.

3. Suciú, I.. Bazale Calculului Solicitarilor Termice ale Aparatelor Electrice (Las Bases del Cálculo de los Esfuerzos Térmicos de los Aparatos Eléctricos) Editura Tecnica, Bucarest, 1980.

4. Holm, R.. Electric Contacts Handbook. Berlin, Springer, 1959.

5. Steinberg, G.. Teoria si Projectarea Aparatelor Electrice (Teoría y Diseño de Aparatos Eléctricos). Editora Didactica y Pedagogica, Vol 1, Bucarest, 1964.

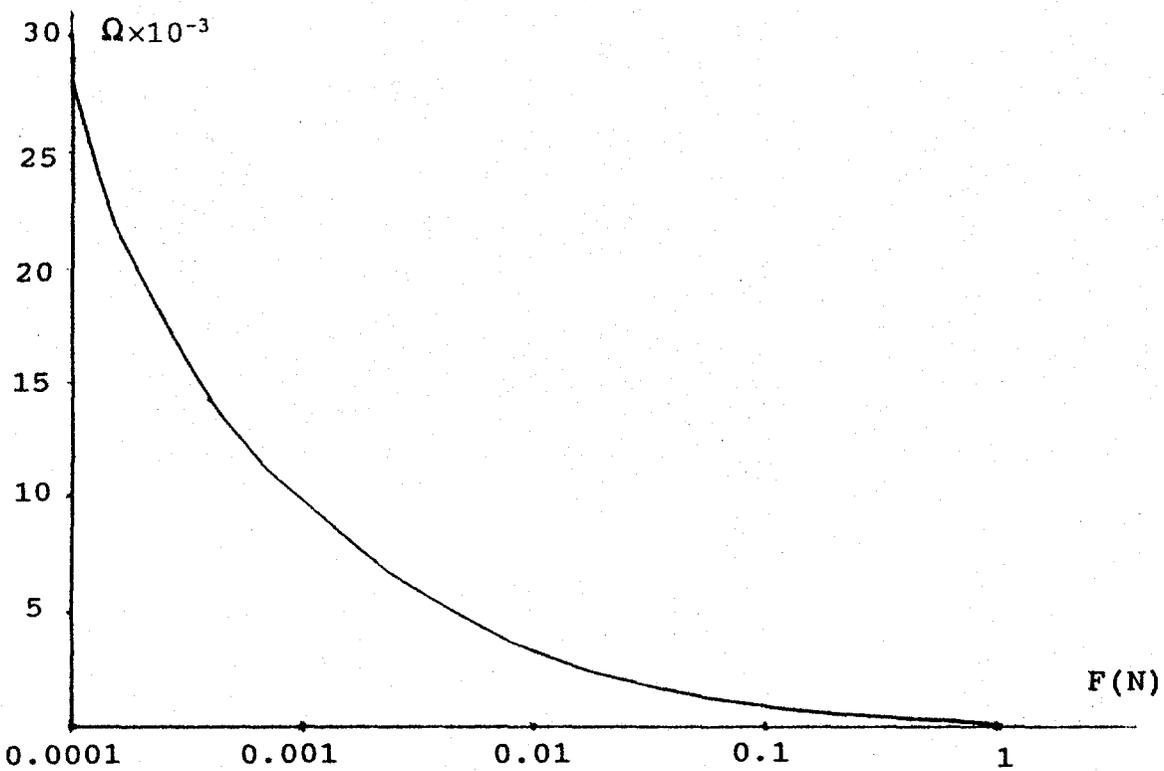


Figura 1. Resistencia de contacto puntiforme en función de la presión sobre el contacto.

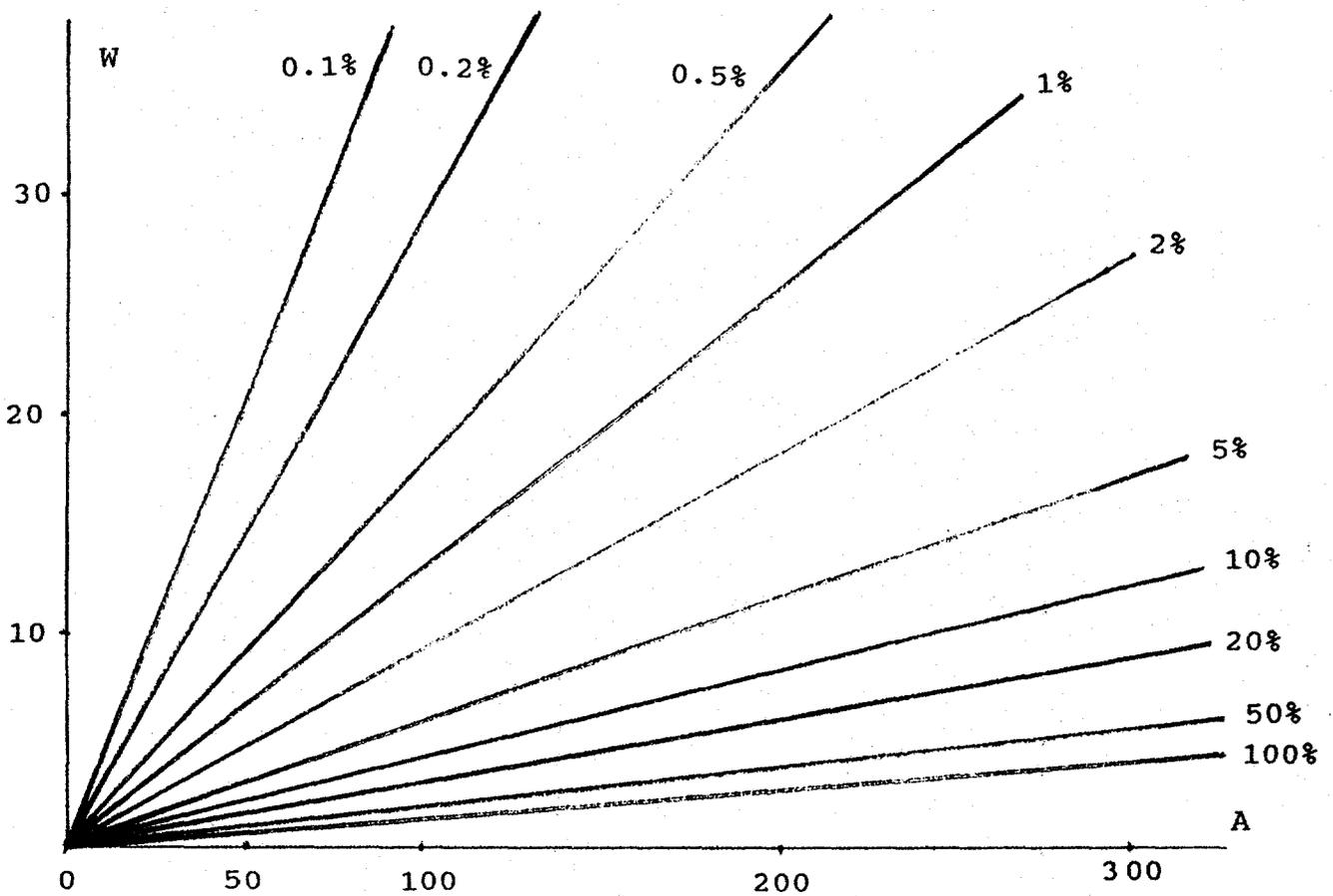


Figura 2. Pérdidas de energía en función de la corriente y del porcentaje de la fuerza de presión de diseño del contacto.

## RECOMENDACIONES PARA LA UTILIZACION DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Horacio Buitrón Sánchez

Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

---

### RESUMEN

En este trabajo se examinan las características relevantes de los motores de alta eficiencia y se plantea su utilización como alternativa para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. Se analiza su costo de operación, en relación con motores estándar similares y se dan varias sugerencias que pueden ayudar a justificar su aplicación.

### INTRODUCCION.

Alrededor del 60% de la energía producida se consume en los motores eléctricos. Incontables ejemplos de su aplicación se tienen en la industria, el comercio, los servicios y el hogar.

Es significativo el hecho de que los motores suministran la mayor parte de la energía que mueve las máquinas de las modernas fábricas e instalaciones industriales. Se estima que 75% de la energía suministrada a la industria es empleada para accionar motores eléctricos. De ahí que la operación, conservación y utilización de los motores en la industria, representa uno de los campos más férti-

les de oportunidades en el ahorro de energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

El ahorro de energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades que se tienen, tanto en lo que respecta a su tipo por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de su velocidad, así como por su tamaño o potencia. Sin embargo con frecuencia se soslaya la eficiencia. El resultado es la elección de motores cuyo costo de

adquisición es menor, pero debido a su mayor consumo de energía a lo largo de una vida útil, no son la mejor inversión.

Como se ha mencionado existen una gran variedad de tipos de motores eléctricos; sin embargo, por su simplicidad de construcción, su velocidad, prácticamente constante y su costo relativamente bajo, los motores asíncronos o de inducción, son los más utilizados y los principales esfuerzos para mejorar la eficiencia en los motores eléctricos, se han dirigido a este tipo de máquinas. Cabe señalar que aún en condiciones óptimas, consumen potencia reactiva, por lo que son uno de las causas principales del bajo factor de potencia en instalaciones industriales.

### EFICIENCIA DE UN MOTOR.

La eficiencia de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea, en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en por ciento de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica. Esto es:

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= \frac{\text{Potencia Mecánica}}{\text{Potencia Eléctrica}} \times 100 \\ &= \frac{0.746 \times \text{CP}(\text{salida})}{\text{KW de (entrada)}} \times 100 \end{aligned}$$

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En el proceso de conversión se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será del 100%. Las pérdidas consumen sólo una fracción de la potencia de entrada. Por ejemplo, un décimo

en un motor con 90% de eficiencia. Sin embargo si sus condiciones de operación son incorrectas o este tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas puede superar con mucho las de diseño con la consecuente disminución de la eficiencia.

Las pérdidas en un motor eléctrico se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Pérdidas eléctricas en los devanados ( $I^2R$ )

- Pérdidas magnéticas o en el núcleo.

- Pérdidas mecánicas por fricción y ventilación.

- Pérdidas indeterminadas.

En condiciones normales de tensión y frecuencia las pérdidas mecánicas y magnéticas se mantienen prácticamente constantes, independientemente de la carga impulsada; no así, las pérdidas eléctricas e indeterminadas que varían con la potencia exigida en la flecha del motor. La máxima eficiencia se obtiene cuando las pérdidas constantes son aproximadamente iguales a las pérdidas variables. En los motores estándar o de eficiencia normal, esto ocurre cuando operan entre el 75% y 95% de su potencia nominal, disminuyendo ligeramente cuando la carga se incrementa y de manera importante si esta se reduce. Lo anterior se muestra en la figura 1, donde se tiene una curva típica de eficiencia en relación a la carga aplicada, para un motor de 10 CP.

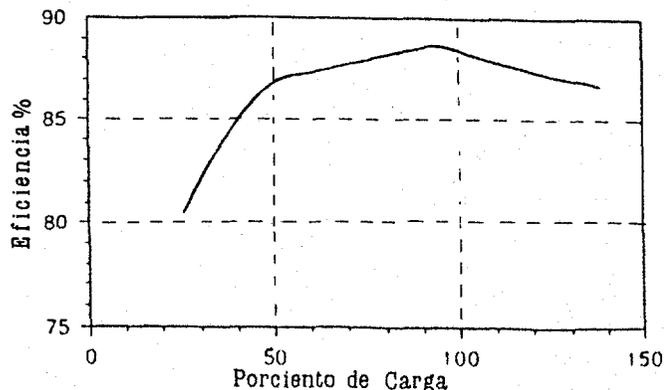


Fig. 1.

Curva típica de la variación de la eficiencia en un motor estándar de 10 CP.

## MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.

Un ahorro importante de energía eléctrica en accionamientos con motores, se puede obtener mediante la reducción de las pérdidas. Para lograrlo, diversos fabricantes de motores eléctricos, se han dedicado a mejorar su diseño y manufactura, realizando diversas acciones entre las que se puede mencionar:

- Utilización de acero con mejores propiedades magnéticas.
- Reducción del entrehierro.
- Reducción de espesor de la laminación.
- Incremento en el calibre de los conductores.

· Utilización de ventiladores y sistemas de enfriamiento más eficientes.

· Utilización de mejores materiales aislantes.

El resultado ha sido el disponer de motores con pérdidas de hasta un 45% menores que la de los motores estándar. Por ejemplo, la reducción del 30% en las pérdidas de un motor de 10 CP con 82% de eficiencia, incrementa su valor a un 87.4%. Por otro lado los motores de alta eficiencia, a diferencia de los estándar, mantienen su alto nivel de eficiencia en un amplio rango de carga. Esto se puede observar en la figura 2, en donde se muestra la variación de la eficiencia con la carga, para motores similares.

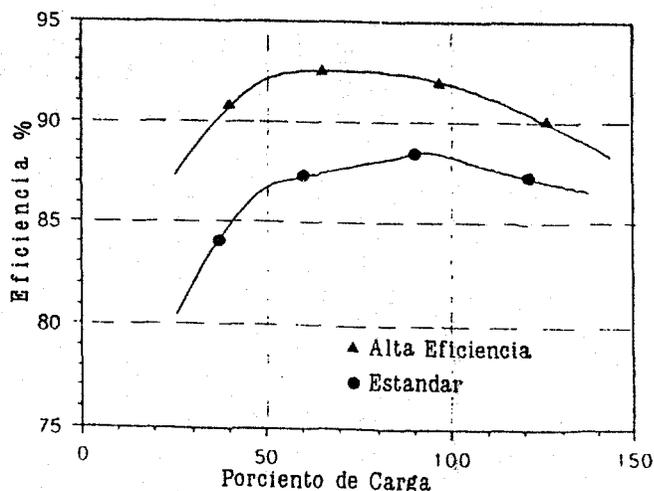


Fig. 2

Comparación de la eficiencia de motores de 10 CP estándar y de alta eficiencia.

Por supuesto la manufactura y el uso de materiales más adecuados tienen un costo. Los motores de alta eficiencia tienen un precio alrededor de un 20% mayor que sus similares estándar, pero como se verá más adelante, este sobreprecio puede ser recuperado en un período de tiempo razonable, con los ahorros que se tienen al reducir su consumo de energía eléctrica.

Con propósitos de comparación en la figura 3 se muestran valores promedio de eficiencia en motores estándar y de alta eficiencia. Se puede observar que entre mayor es la potencia del motor, la mejoría en la eficiencia se reduce. Lo anterior es debido a las mejoras técnicas que, en la fabricación de motores de gran capacidad que se han venido aplicando desde tiempo atrás.

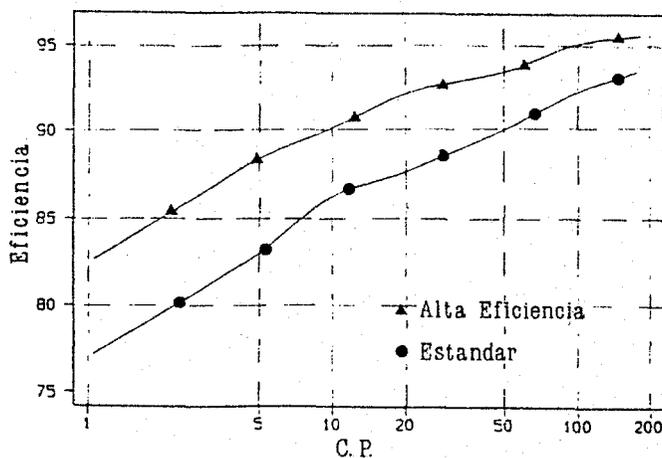


Fig.3.  
Eficiencia de motores eléctricos de 1800  
RPM cerrados.

En México la utilización de motores de alta eficiencia ha sido prácticamente nula. Varias son las razones de esto. En primer lugar hasta recientemente no se fabricaban en el país, y siendo productos de importación se tenía un incremento en su costo. Otra razón era la falta de normas que garantizaran, no sólo para los de alta eficiencia, sino también para los estándar, valores mínimos de eficiencia a los que se sujetaran los fabricantes nacionales. Afortunadamente, como un primer paso, está por emitirse la Norma Oficial Mexicana de Eficiencia Energética para Motores Trifásicos de 1 a 200 CP, en donde se establecen los rangos que deben satisfacer. Finalmente, la falta de conocimiento entre los usuarios que podrían utilizar este tipo de máquinas.

### **SOBREDIMENSIONAMIENTO DE MOTORES**

Como se ha mencionado los motores estándar operan a una mayor eficiencia cuando trabajan cerca de su potencia nominal, sobrecargarlos no sólo representa mayores pérdidas, sino el deterioro acelerado de sus aislamientos y si no se toman previsiones, que el motor se quemé. Sin embargo en las instalaciones, particularmente las industriales, es más frecuente encontrar motores que operan con baja carga que sobrecargados, esto es, están sobredimensionados. Las razones van desde una selección inadecuada de origen de la potencia del motor, hasta la sustitución de un motor fallado, por otro de mayor potencia del que se dispone de momento, y que desafortunadamente se deja conectado

de manera permanente.

Si bien existen normas para determinar con precisión la eficiencia de un motor, en el caso de máquinas de inducción con la ayuda de equipo de medición, convencional, wáttmetro y tacómetro, se puede medir en campo, con cierta certeza la potencia y la eficiencia real a la que está trabajando.

Por ejemplo en un motor estándar de 10 CP, 4 polos, 1745 RPM de placa o nominal, la potencia eléctrica que toma de la red es de 3.8 KW trabajando a una velocidad de 1738 RPM.

La potencia demandada por la carga en estas condiciones se puede calcular con la siguiente expresión.

$$CPr = \frac{Ns - Nr}{Ns - Nn} CPn$$

Dónde:

CPr = Potencia real en la flecha (CP)  
 CPn = Potencia nominal (CP)  
 Ns = Velocidad de sincronismo (RPM)  
 Nr = Velocidad real en la flecha (RPM)  
 Nn = Velocidad nominal (RPM)

De esta manera aplicando la fórmula se tiene:

$$CPr = \frac{1800 - 1778}{1800 - 1745} 10 = 4 CP$$

Con una eficiencia de:

$$Eficiencia = \frac{4.0 \times 0.746}{3.8} = 79\%$$

Si el accionamiento no requiere de una potencia mayor que la estimada, el motor podría ser sustituido por otro de alta eficiencia de 5 CP, con una eficiencia de alrededor del 87%, y con ahorros de energía que pueden ser significativos, dependiendo de sus horas de operación y del costo de la electricidad.

## REPARACION DE MOTORES

Las fallas en los motores eléctricos tienen con frecuencia su origen en desperfectos mecánicos, muchas veces acompañados por daños severos en el aislamiento de los devanados, por lo que es necesario su reembobinado o su sustitución.

Si bien es técnicamente posible reparar un motor para que esté mantenga sus condiciones originales de desempeño, la realidad es que su eficiencia se reduce, entre otros debido a:

- Calentamiento excesivo del hierro al quitar el alambre.

- Daños a las ranuras al retirar el devanado dañado y montar el nuevo.

- Diferente calidad y calibre de alambre.

- Daños a los cojinetes y mal alineamiento.

- Mayor tiempo de secado final.

Por esta razón si se decide reparar un motor es necesario que la compostura la efectue personal calificado, para garantizar que esta sea realizada correctamente y que los materiales sean de calidad igual o superior a los originales. Aún así la práctica ha demostrado que la eficiencia se reduce aproximadamente en un 1% cada vez que un motor se reembobina.

El reembobinado es con frecuencia efectivo si una o más de las siguientes condiciones se presentan: el motor es mayor de 125 CP, su ciclo de operación es menor de 2000 horas por año, es un motor muy eficiente o de alta eficiencia y finalmente si la tarifa de electricidad es baja. Sin embargo se deben analizar las condiciones particulares de cada caso para determinar su factibilidad.

### ESTIMACION DE LOS AHORROS CON MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

La selección apropiada de un motor eléctrico, debe considerar sus condiciones de desempeño, incluyendo las restricciones del medio ambiente: así como su costo inicial y de operación. Características de la alimentación eléctrica, requerimientos del par, ciclo de trabajo de la carga, tipo de armazón, etc., son algunos de los factores que deben ser tomados en cuenta. El siguiente paso es evaluar el nivel de eficacia deseado, para la aplicación de que se trate. En este caso, la elección de un motor de alta eficiencia puede considerarse como la mejor alternativa. Sin embargo, debido su mayor costo inicial, comparado

con un motor estándar de características similares, es importante hacer un análisis de los beneficios para asegurar que la decisión es viable.

Tres conceptos son necesarios para evaluar la factibilidad económica de elegir un motor de alta eficiencia: el promedio de horas de operación, el factor de carga y el costo de la energía eléctrica. El factor de carga se refiere al valor de la potencia que en promedio, se está exigiendo en la flecha del motor, con respecto a su valor de diseño o nominal.

La potencia ahorrada que se obtiene por utilizar un motor de alta eficiencia, en lugar de uno estándar o de eficiencia menor, se puede establecer a partir de la siguiente fórmula:

$$Pa = 0.746 \times CP \times L \times \left[ \frac{100}{Estd} - \frac{100}{Eae} \right] KW$$

Dónde:

- Pa = Ahorro en potencia.
- CP = Caballos de potencia.
- L = Factor de carga.
- Estd = Eficiencia del motor estándar (%).
- Eae = Eficiencia del motor de alta eficiencia (%).

A partir de los kW ahorrados se puede calcular el ahorro monetario para un determinado período. Por ejemplo para un año:

$$S = Pa [N \times Ce + n \times Cp] N\$$$

Dónde:

- S = ahorro anual N\$ / año.
- N = horas de operación / año.
- n = número de períodos de facturación/año.
- Ce = cargo por energía (N\$/KWh).
- Cp = cargo por demanda máxima (N\$/KW).

Las expresiones anteriores se aplican en acondicionamientos donde los motores trabajan con una carga sustancialmente constantes. En el caso de ciclos de trabajo en los que la carga varíe, se pueden hacer estimaciones para cada uno de ellos y luego sumar los ahorros para obtener el ahorro total.

El período de recuperación en años puede ser determinado como sigue:

$$\text{Período en años} = \frac{\text{Premio en costo}}{\text{Ahorro anual}}$$

Dónde el premio en costo, es la diferencia de precio entre los motores comparados.

Por ejemplo considérese el caso de un motor de 50 CP, operando en promedio durante 6000 horas al año, con un factor de carga de 0.75, al que se aplicará la tarifa OM, 0.13972 N\$/kWh y 23.778 N\$/kW en la región tarifaria central. La alternativa es utilizar un motor normalizado con una eficiencia de 89.5% o una de alta eficiencia con 92.4% y cuyos precios de adquisición son respectivamente N\$9,814.00 y N\$11,777.00. Aplicando las fórmulas se tiene:

$$Pa = 0.746 \times 50 \times 0.75 \left[ \frac{100}{89.5} - \frac{100}{92.4} \right]$$

$$= 0.981 \text{ KW}$$

$$S = 0.981 \times [6000 \times 0.13972 + 12 \times 23.778]$$

$$= \text{N}\$1123.65$$

$$\text{Período en años} = \frac{11,777.00 - 9,814.00}{1,123.65}$$

$$= 1.75 \text{ años}$$

Como se puede observar la inversión adicional del motor de alta eficiencia sería recuperada, en un período razonable. Después de este período inicial de recuperación, el motor eficiente comienza a generar ahorros por un menor consumo de energía, con la consecuente reducción en los costos de operación.

En la tabla siguiente se muestra la comparación de los costos de operación por consumo de energía, para los motores del ejemplo, considerando un período de vida útil de 20 años.

COMPARACION DE COSTOS DE OPERACION				
BASE DE COMPARACION	MOTOR ESTANDAR	MOTOR DE ALTA EFICIENCIA	DIFERENCIA	COMENTARIOS.
Precio de compra (N\$)	9,814.00	11,777.00	1,963.00	20% mayor
Eficiencia (%)	89.5	92.4	2.9	3.24% mayor
Pérdidas (%)	10.5	7.6	2.9	27.6 % menor
Costo anual de energía (N\$)	35,122.25	34,019.80	1,102.40	3.6 y 2.9 veces el costo inicial de los motores.
Costo anual de pérdidas(N\$)	3,687.85	2,585.50	1,102.35	27.61% menor.
Costo de energía en 20 años (N\$)	702,445.00	680,396.00	22,049.00	3.14% menor
Costo de pérdidas en 20 años (N\$)	73,757.16	51,710.00	22,047.00	12 veces el costo de la diferencia.

$$\text{Costo anual energía} = \left[ \frac{0.746 \times CP \times L}{\text{Eficiencia}/100} \right] \times [N \times Ce + n \times Cp] \text{ N\$}$$

$$\text{Costo anual pérdidas} = \text{Costo anual de energía} \times (\% \text{ Pérdidas} / 100) \text{ N\$}$$

## CUANDO UTILIZAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Cada usuario tiene múltiples requerimientos que satisfacer para asegurar la operación correcta y económica de sus accionamientos con motores eléctricos, la eficiencia es sólo, uno de ellos; sin embargo en las siguientes condiciones el empleo de los motores de alta eficiencia debe ser considerado:

- En instalaciones nuevas.

- Quando modificaciones mayores son realizadas en procesos existentes.

- En lugar de rebobinar motores estándar que han fallado.

- Para reemplazar motores estándar que operan normalmente sobrecargados o con baja carga.

- En la adquisición de equipos y accionamientos nuevos tales como, aires acondicionados, compresores y sistemas de bombeo.

- Quando se desea reducir los costos de operación sustituyéndolos por motores viejos u obsoletos.

## RECOMENDACIONES GENERALES.

Los motores de alta eficiencia son máquinas de alta calidad, y más confiables en su operación que los motores estándar, pero su principal atributo es que por su eficiencia mayor con respecto a estos últimos, reducen los costos de operación que se traducen en ahorros importantes

de energía y de dinero a lo largo de su vida útil. Estos ahorros no sólo dependen del motor, los mayores beneficios se obtienen cuando éste y su carga operan a un máximo de eficiencia. Lo anterior implica una selección apropiada del motor, que su instalación eléctrica y mecánica este conforme a las normas y recomendaciones del fabricante y de un mantenimiento correcto.

A continuación se dan varias recomendaciones, no sólo aplicables a los motores de alta eficiencia, sino en general a todos los motores y que pueden coadyuvar a mejorar su desempeño:

- Seleccionar el motor, de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranque y paro, ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia. Además de que se puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de la temperatura.

- Elegir correctamente la potencia del motor. En motores estándar su rendimiento máximo se obtiene cuando operan cerca de su potencia nominal, entre el 75% y 95%. Los motores de alta eficiencia tienen un rango mayor, pero en ambos casos no es recomendable operar a baja carga, ya que se reduce sensiblemente el factor de potencia.

- Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencili-

llos y por lo tanto menos costosos, además de operar con mayor factor de potencia. Sin embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados están indicados, además de ser eficientes.

Seleccionar correctamente la velocidad del motor, si la carga lo permite prefiera motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de corriente alterna, trabajan con un mejor factor de potencia.

Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su capítulo referente a motores, y las recomendaciones de los fabricantes son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos.

Evitar concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su eficiencia.

Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en las terminales del motor, acarrea entre otros, un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída máxima del 3% (o del 5% en la combinación de alimentador y circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.

Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operarán con mayor eficiencia.

Instalar motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos, en aquellos accionamientos, en donde la carga sea variable y se pueda controlar cambiando la velocidad. Por ejemplo en sistemas de bombeo a compresión que deben suministrar caudales variables y que para hacerlo utilicen válvulas u otros dispositivos de control, La eficiencia total del motor y su carga se eleva notablemente con ahorros importantes de energía.

Acoplar directamente el motor a la carga siempre que el accionamiento lo permita. Con esto se evitan las pérdidas en el mecanismo de transmisión.

Revisar periódicamente las conexiones del motor, junto con las de su arrancador y demás accesorios. Conexiones flojas o mal realizadas con frecuencia originan un mal funcionamiento del motor y ocasionan pérdidas por disipación de calor.

Mantener en óptimas condiciones los sistemas de ventilación y enfriamiento de los motores, para evitar sobrecalentamientos que puedan aumentar las pérdidas en

los conductores del motor y dañar los aislamientos.

Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

Mantener en buen estado los medios de transmisión entre el motor y la carga, tales como: poleas, engranes, bandas y cadenas. Si estos no se encuentran en condiciones apropiadas o su instalación es incorrecta, pueden ocasionar daños importantes, además de representar una carga inútil para el motor.

Mantener en óptimas condiciones los cojinetes del motor. Una cantidad considerable de energía se pierde en cojinetes en mal estado o si su lubricación es inadecuada (insuficiente o excesiva). Repárelos o sustitúyalos si tienen algún desperfecto y siga las instrucciones del fabricante para lograr una correcta lubricación.

## CONCLUSIONES

De las máquinas y dispositivos eléctricos, los motores globalmente consumen la mayor parte de la energía eléctrica producida y son una de las áreas de oportunidad más importantes para el ahorro y uso eficiente de esta.

Si bien los mayores ahorros se obtienen cuando, tanto los motores, como su carga operan a un máximo de eficiencia, el empleo de motores de alta eficiencia

es una alternativa rentable que puede coadyuvar a lograrlos. Sin embargo cada caso debe analizarse cuidadosamente para establecer la factibilidad de su aplicación principalmente por su mayor costo de adquisición con respecto a sus similares estándar.

## BIBLIOGRAFIA

J. C. ANDREAS. "Why Select an Energy Efficient Electric Motor". Reprinted from Consulting/Specifying Engineer. August, 1990.

G. Mc.Coy, T. LITMAN, J. DOUGLASS "Energy-Efficient Electric Motor Selection Handbook". Washington State Energy Office. Rev. 3, January 1993.

B. HOWE, M. SHEPARD, A. LOVINS, B. STICKNEY, D. HOUGHTON "Drive Power Technology Atlas", E. SOURCE, INC. Boulder Colorado, August 1993.

S. NADEL, M. SHEPARD, S. GREENBERG, G. KATZ, A. ALMEIDA. "Energy Efficient Motor Systems". American Council for an Energy-Efficient Economy. Washington DC. 1991.

IEM. "¿Cuánto gasta de Energía Anualmente?" IEM-CONDUMEX. México 1993.

FIDE. "Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos". Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía

**AHORRO DE ENERGIA EN EQUIPOS DE BOMBEO AGRICOLA.**

**ING. R. ARACELY ACOSTA TORRES**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
TRABAJO DESARROLLADO PARA EL FIDE  
DANTE 36 - 6° PISO. COLONIA NUEVA ANZURES  
CP 11590 MEXICO, D.F.**

**RESUMEN**

En el presente artículo se analiza el estado actual de los equipos de bombeo para riego agrícola en México, al ser las bombas centrífugas verticales tipo turbina, las más comúnmente utilizadas para este servicio, el estudio ha sido enfocado a estos equipos, obteniéndose los escenarios de eficiencias y consumos, así como, el potencial de ahorro energético existente en este sector.

**INTRODUCCION.**

En México, la demanda energética del sector agrícola, representa alrededor de un 7% del volumen total de ventas reportadas por CFE para 1991, para ese mismo año, CFE menciona tener inscritos 77,000 pozos en la tarifa 9, sin embargo, de acuerdo a los consumos de energía registrados por usuario, la CNA (Comisión Nacional del Agua) [4], considera un total de 52,500 como pozos de uso agrícola, en los cuales existe un gran potencial de ahorro energético. Considerando lo anterior, se vio la importancia de analizar el estado actual de los equipos de bombeo para riego agrícola en México. Partiendo de la premisa de que el 70% de los equipos instalados en la CNA (Comisión Nacional del Agua) son bombas verticales para pozo profundo

tipo turbina, cuyo rango varía entre 40 y 350 HP, el presente estudio está enfocado a este tipo de equipos por ser el más utilizado en el servicio de riego agrícola.

El análisis se ha realizado en dos direcciones:

- Bombas en operación
- Bombas nuevas de fabricación nacional

En ambos casos se han obtenido los escenarios de eficiencias para las bombas y en cuanto a la estimación del potencial de ahorro, se han considerado tres tipos de acoplamiento de equipos respecto a su eficiencia: estándar nacional, estándar internacional y alta eficiencia, con la finalidad de visualizar el impacto en la disminución de la demanda energética al utilizar equipos eficientes y/o rehabilitar las

instalaciones existentes.

Resulta conveniente aclarar que este es un estudio base, en espera de ser retroalimentado con información más amplia de los fabricantes de bombas, para obtener escenarios más apegados a la realidad, aunque los aquí expuestos son resultados confiables.

## OBJETIVO

El propósito del presente estudio es dar a conocer la situación actual de los equipos de bombeo agrícola en el país, así como, el potencial de ahorro de energía existente en este sector.

## ESCENARIO DE EFICIENCIAS

Después de analizar el panorama de eficiencias para las bombas utilizadas en riego agrícola, se encontró que en México existe un nivel inferior, en cuanto a eficiencias de estos equipos, comparado con el nivel existente en otros países. Con la finalidad de cuantificar esta situación, se ha hecho una división de los equipos de bombeo para riego agrícola de la siguiente manera:

- a. Bombas en operación
- b. Bombas nuevas de fabricación nacional.

### a. Bombas en operación.

Con el propósito de analizar la eficiencia de los equipos en operación, se solicitó información a CONAGUA (Riego Agrícola), obteniéndose estadísticas de doce estados de la República (Sonora, Aguascalientes, Chihuahua, Guanajuato, Baja California Sur, Puebla,

Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Zacatecas, Durango y Michoacán), además, la Región Lagunera, conformando una muestra representativa de 2,035 bombas instaladas.

Para un mejor manejo de la información, se hizo una clasificación de los equipos de acuerdo a su potencia, en rangos de 5 a 20, de 21 a 50, de 51 a 125 y mayores de 126 HP [7]. En la figura No. 1 se muestran los resultados del análisis de la información, destacando el cálculo de las eficiencias promedio para cada rango de potencia, 32.4% para capacidades de 5 a 20 HP, 42.8% para el rango de 21 a 50 HP, 46.8% para capacidades de 51 a 125 HP y para bombas mayores de 126 HP 40% de eficiencia.

Analizando los valores de las eficiencias de los equipos instalados, se obtuvo una eficiencia promedio ponderada de acuerdo al porcentaje de participación de cada rango de 44.4%, valor que se designa como eficiencia electromecánica en operación actual.

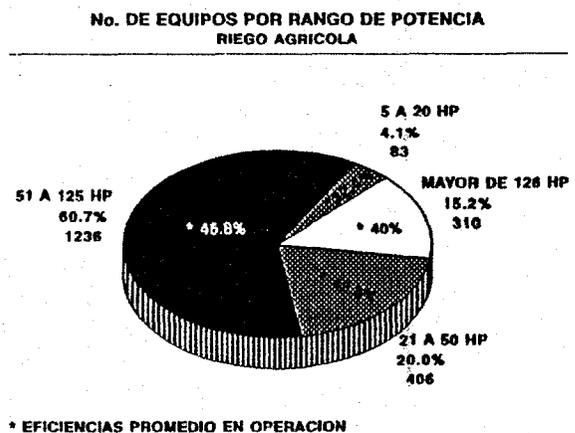


Fig. No. 1 Distribución de la población de equipos de bombeo según su capacidad.

b. **Bombas nuevas de fabricación nacional.**

Para tener conocimiento del estado de las bombas nuevas tipo turbina fabricadas en el país, en cuanto a su eficiencia, se solicitó información a los fabricantes de equipos y se realizó una búsqueda de la información técnica (curvas de operación) para diferentes marcas de bombas, obteniéndose únicamente curvas características de cuatro marcas, mismas que se encuentran actualmente en el mercado, siguiendo la misma técnica de clasificar a los equipos en cuatro rangos según su capacidad, se hizo el análisis de las curvas de los equipos, obteniendo el escenario de eficiencias mostrado en la figura No. 2, dando como resultado una eficiencia promedio de 72.8% para capacidades de 5 a 20 HP, 75.9% de eficiencia para el rango de 21 a 50 HP, 80.7% de eficiencia para el rango de 51 a 125 HP y para potencias mayores de 126 HP 81.3% de eficiencia, teniendo finalmente un valor de 79.5% como eficiencia promedio ponderada de las bombas nuevas de fabricación nacional.

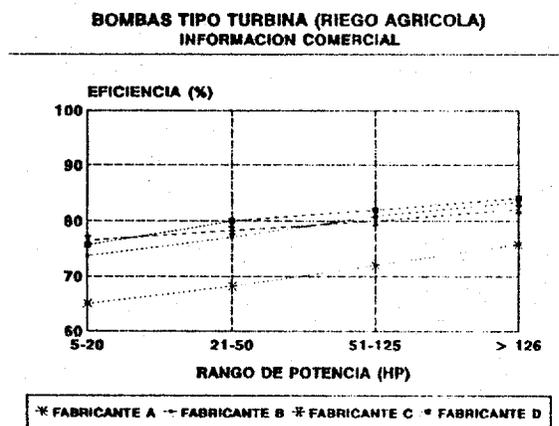


Fig. No. 2 Escenario de eficiencias de fabricantes nacionales.

Haciendo una comparación por rango de potencia, entre equipos en operación y equipos nuevos de fabricación nacional, tenemos que:

**CUADRO COMPARATIVO DE EFICIENCIAS PARA BOMBAS TIPO TURBINA**

RANGO (hp)	EFIC. PROM. EN OPERACION ACTUAL (%)	EFIC. PROM. EQUIPOS NUEVOS DE FABRICACION NAC. (%)
5-20	32.4	72.8
21-50	42.8	75.9
51-125	60.7	80.7
> 126	40	81.3

Se observa que para el rango de potencia de 51 a 125 HP, la diferencia de equipos en operación y equipos nuevos de fabricación nacional es de 20 puntos porcentuales, siendo ésta la mínima diferencia existente, ya que para los otros rangos la diferencia alcanza hasta 40 puntos porcentuales, visualizando de esta manera, la existencia de un potencial de ahorro energético significativo en este campo.

### ESCENARIO GLOBAL DE EFICIENCIA PARA BOMBAS NUEVAS

Ahora bien, un escenario comparativo de las eficiencias para las bombas tipo turbina (Fig. No. 3), se desarrolló calculando los valores de eficiencia a nivel internacional, así como, la eficiencia para el límite tecnológico, en base a la gráfica "eficiencia en función de la velocidad específica" [6],

utilizando la capacidad promedio y la velocidad específica calculada con los valores promedios de los fabricantes para cada rango establecido, en el caso del límite tecnológico se consideró la eficiencia máxima posible de obtener para unas condiciones dadas. Lo anterior, está basado en el concepto de Velocidad Específica, el cual permite predecir, a partir de curvas teóricas, la eficiencia que la bomba puede desarrollar para unas condiciones determinadas de caudal, carga y velocidad de rotación.

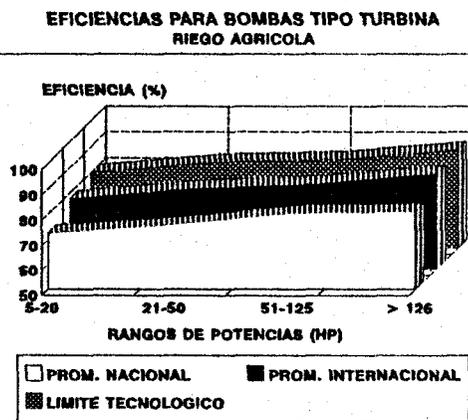


Fig. No. 3 Escenario comparativo de eficiencias.

De acuerdo a los valores graficados la diferencia promedio entre el promedio nacional y el promedio internacional es de 5.3 puntos porcentuales, diferencia que se vería disminuida al hacer inversiones para adaptar nuevas tecnologías en la fabricación de los equipos.

Haciendo mención a la forma de mejorar la eficiencia de los equipos de bombeo fabricados en el país, y pensando en introducir al mercado

bombas mas eficientes que sean competitivas a nivel internacional, se ha encontrado que algunas de las tecnologías que se pueden aplicar en este aspecto son: recubrimiento de tazones y/o impulsores con materiales resistentes a la abrasión, así como, mejoras en los procesos de fabricación, tanto de moldes como del propio equipo. Siendo importante mencionar que ciertas compañías del ramo ya han incorporado algunas de las técnicas antes citadas a sus procesos de fabricación, lamentablemente no se obtuvo información de estas compañías para el presente estudio, por lo que es posible que las eficiencias de sus equipos contribuyan a incrementar el promedio nacional de eficiencias, el cual fue determinado con la información disponible hasta el momento.

#### POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO.

Considerando la problemática existente en cuanto al ahorro energético en nuestro país y tomando en cuenta la repercusión de este hecho en el aspecto financiero y ambiental, además de considerar la necesidad de alentar la entrada al mercado nacional de bombas con mejor eficiencia, se ha elaborado una proyección del consumo de energía para el servicio de riego agrícola (Fig. No. 4), apoyados en la tasa media de crecimiento anual para la tarifa 9, publicada por CFE para 1991, el cual, muestra el incremento en el consumo de energía en un lapso de diez años (1991-2000), utilizando equipos estándar de fabricación nacional en comparación con equipos estándar internacional y de alta eficiencia. En vista de que se observa un incremento

considerable, es necesario plantear la posibilidad de usar equipos más eficientes, los cuales ocasionen un ahorro energético en este sector.

ESCENARIO DE CONSUMO DE ENERGÍA PARA RIEGO AGRÍCOLA  
BOMBAS TIPO TURBINA

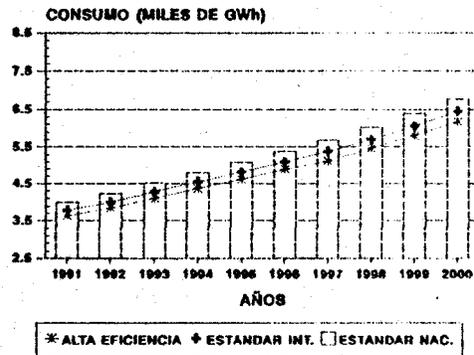


Fig. No. 4 Proyección del consumo de energía para riego agrícola.

Como se mencionó en la introducción, los cálculos del potencial de ahorro se han realizado considerando tres tipos de equipos, es decir, diferentes acoplamientos entre bomba y motor respecto a su eficiencia, tenemos: estándar nacional con una eficiencia promedio de 72.1%, acoplado bomba estándar nacional con un motor estándar [5] de eficiencia promedio ponderada de 90.6%, estándar internacional con eficiencia promedio de 76.1%, acoplado bomba con promedio de eficiencia internacional y motor estándar nacional, y equipos de alta eficiencia con una eficiencia promedio de 79.3%, acoplado bomba con promedio de eficiencia internacional y motor de alta eficiencia con eficiencia promedio ponderada de 94.5% [5].

Estas combinaciones fueron seleccionadas tratando de cubrir toda la gama de eficiencias desde el estándar nacional hasta los equipos de alta eficiencia.

En la tarifa 9 -riego agrícola-, CFE reporta un consumo de energía de 6497 GWh/año [2]. Los cálculos realizados para obtener la eficiencia electromecánica promedio de los equipos instalados dan un valor de 44.4%, siendo que de acuerdo a la información técnica obtenida (estándar nacional), se tiene una eficiencia electromecánica promedio del 72.1%. Esto supone, que si las bombas son operadas en condiciones óptimas, siguiendo las indicaciones de instalación y uso en normas o en su caso si se rehabilitan estos equipos de tal manera que operen con una eficiencia aproximada a la de los equipos que salen de fábrica, se tendría una reducción en el consumo de energía significativa, se estaría hablando de un consumo de 4,000 GWh/año, lo que significa un 38% menos del consumo actual.

Pensando en hacer más eficientes los equipos de bombeo y que es posible igualar el estándar internacional se tendría un consumo de 3,791 GWh/año, lo que significa un ahorro del 42% con respecto al consumo reportado por CFE para 1991. En el caso de que se lograra operar con equipos de alta eficiencia el consumo sería de 3,638 GWh/año, representando un ahorro del 44% con respecto al consumo actual (6,497 GWh/año).

Los valores calculados se resumen en el siguiente cuadro.

POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO
--------------------------------

EQUIPO	EFIC. ELECTROMEC. PROM. (%)	CONSUMO (GWh)	AHORRO ENERGETICO (%) *
OPERACION ACTUAL	44.4	6,497	—
ESTANDAR NACIONAL	72.1	4,000	38
ESTANDAR INTERNAC.	76.1	3,791	42
ALTA EFICIENCIA	79.3	3,636	44

\*Ahorro energético con respecto al consumo en operación actual.

Una buena alternativa en el proceso de hacer más eficientes los equipos de bombeo para riego agrícola, sería llevar la eficiencia de operación actual (44.4%) al valor estándar nacional (72.1%). Es decir rehabilitando equipos o mejorando las condiciones de operación, lo que significa, reparación de los equipos en sí -bomba y motor-, reparación de pozos -nivel estático y dinámico-, las líneas de distribución del fluido y la óptima utilización del mismo en el riego, se tendría un ahorro energético de 2,497 GWh/año, cifra que representa un 38% con respecto al consumo actual (6,497 GWh/año). Al dejar de generar esa cantidad de energía, una planta de capacidad instalada de 300 MW, podría estar fuera del sistema nacional. Si se considera la planta una central térmica convencional, el costo de generación [1] del KW es de N\$ 0.165 /KWh, lo que repercutirá en un ahorro financiero anual de 412 millones de nuevos pesos, debe mencionarse que estas estimaciones han sido hechas

considerando las cifras reportadas por CFE para la tarifa 9.

Lo antes expuesto demuestra que el impacto en el ahorro energético y financiero, es significativo, tan sólo por rehabilitar los equipos y/o instalaciones ya existentes.

## CONCLUSIONES

El estudio realizado de los equipos de bombeo agrícola, nos presenta un escenario de eficiencias donde se muestra que los equipos de fabricación nacional no están muy por debajo de los equipos que se fabrican internacionalmente. También resalta el hecho de que la eficiencia electromecánica de los equipos instalados actualmente es de 44.4%, siendo que el promedio de eficiencias reportado por la información comercial es de 72.1%, estamos hablando de aproximadamente 28 puntos porcentuales de diferencia, hecho que refleja una situación interesante, ya que independientemente del ahorro por incorporar sistemas de bombeo con eficiencia superior al promedio nacional, el ahorro energético por rehabilitar las instalaciones ya existentes sería mayor, además que, ésto llevado al terreno financiero, también representa un ahorro anual significativo.

## REFERENCIAS

1. Comisión Federal de Electricidad, Costos y parámetros de referencia para la evaluación de

proyectos de inversión en el sector eléctrico, COPAR, Gerencia de evaluación y programación de inversiones, 11<sup>a</sup> Edición, 1991.

2. Comisión Federal de Electricidad, Información básica, 1991.
3. Comisión Nacional del Agua, Estadísticas de Equipo de Bombeo Instalado, 1991.
4. Comisión Nacional del Agua, Reporte Técnico "Unidades de riego para el Desarrollo Rural", Febrero de 1993.
5. IIE, Eficiencia de motores, Documento 5257RI.220, Depto. de Ahorro de Energía, 1993.
6. Paul N. Garay, Pump Application Desk Book, 2nd. Edition 1992, The Fairmont Press Inc.
7. U.S. Department of Energy, Clasificación and Evaluation of Electric Motors and Pumps, DOE/CS-0147, February 1980.