



*H*  
*06/02/85*

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

"ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES  
TERMICOS SOBRE EL POTENCIAL DE CONSERVACION  
ENERGETICA INDUSTRIAL".

Tesis de Grado  
Previa a la obtención del título de:

INGENIERA MECANICA

Presentada por:

BLANCA SILVA DE GARCIA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.985

## A G R A D E C I M I E N T O

Al DR. ALFREDO BARRIGA RIVERA, por la acertada dirección técnica, por su ayuda, por su colaboración y apoyo moral brindado para la culminación de esta tesis.

Al ING. RODOLFO PAZ MORA, a los Compañeros y al Personal del Laboratorio de Conversión de Energía, al Sr. SERVIO PERALTA, Instructor del Laboratorio de Potencia de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, muchas gracias por su ayuda.

## AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL

Se deja constancia del agradecimiento al Instituto Nacional de Energía (INE) y al U.S.A.I.D. por el apoyo a los estudios y seminarios sobre conservación energética dictados tanto en la ESPOL como en el INE.

Se agradece la colaboración recibida por parte de los Directivos y empleados de la Industria de Papel a que se hace relación en el presente estudio.

Finalmente se agradece a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a la Facultad de Ingeniería Mecánica, por la participación en el pro

grama de conservación energética  
de la cual la presente tesis  
es parte integrante.

## DEDICATORIA

- A MIS PADRES
- A MI ESPOSO
- A MIS HIJOS
- A MIS HERMANOS

*Eduardo Orce Pareja*

ING. EDUARDO ORCES PAREJA  
DECANO  
FACULTAD INGENIERIA MECANICA

*Alfredo Barriga Rivera*

DR. ALFREDO BARRIGA RIVERA  
DIRECTOR DE TESIS

*Rodolfo Paz Mora*

ING. RODOLFO PAZ MORA  
MIEMBRO PRINCIPAL

*Manuel Helguero Gonzalez*

ING. MANUEL HELGUERO GONZALEZ  
MIEMBRO PRINCIPAL

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



BLANCA A.SILVA SAN MARTIN

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en hacer un análisis técnico - económico de los factores térmicos que más inciden en el potencial de Conservación Energética en las industrias. Siendo el objetivo principal del mismo, hacer frente a los problemas que en un futuro mediano se presentará en nuestro país, como lo es el de la racionalización energética a causa del crecimiento de los precios de los combustibles, del agotamiento de las fuentes no renovables de energía y de estabilizar el precio de los productos.

Un análisis particular se realiza con los datos técnicos correspondientes a una fábrica nacional que produce papel de diferentes tipos, y en base a ellos se elaboran las recomendaciones técnicas y económicas al problema de conservación energética.

El análisis técnico para la evaluación de las me

medidas recomendadas se basa en tres niveles:

- a. Reducción de consumos innecesarios de energía.
- b. Mejoramiento de las prácticas de operación y mantenimiento.
- c. Recuperación de energía.

Estos niveles producen ahorros grandes de energía y a su vez requieren de inversiones relativamente pequeñas.

Se han considerado los principales factores térmicos; pero sin incluir todos. Por la orientación del trabajo hacia industrias de papel, por ejemplo no se ha tomado en cuenta aspectos como el acondicionamiento de aire, área ésta que sería de importancia en industrias como la TEXTIL. Por otro lado se ha considerado el efecto del factor de potencia eléctrico, que sin ser una característica térmica, se considera de importancia para el caso tratado.

La factibilidad económica de cada medida se evalúa

por separado considerando aquellas medidas de ba  
jo costo y de mediano costo.

Para las primeras el análisis económico se limi  
ta a las técnicas que no consideran el valor  
del dinero a través del tiempo; y para las segun  
das las técnicas que si lo consideran.

El presente trabajo se planteó como tesis de gra  
do a fines de 1.982, fue aprobado en 1.983 y se  
llevó a cabo durante el año 1.984. La elaboración  
del documento final se culminó y revisó en febrero  
de 1.985.

## INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VIII
INDICE GENERAL -----	XI
INDICE DE FIGURAS -----	XIV
INDICE DE TABLAS -----	XVI
INDICE DE APENDICES -----	XX
INDICE DE ABREVIATURAS -----	XXI
INTRODUCCION -----	22
CAPITULO I	
1. EL PROBLEMA -----	26
1.1. USO DE LA ENERGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES -----	31
1.2. IDENTIFICACION DE LOS FACTORES TERMICOS DE IMPOR TANCIA -----	38
1.3. OBJETIVO DEL AHORRO ENERGETICO -----	41
CAPITULO II	
2. FACTORES TERMICOS A CONSIDERARSE EN EL APROVECHA MIENTO DE LA ENERGIA -----	43
2.1. PERDIDAS TERMICAS -----	44
2.1.1. Resistencias Térmicas en paredes -----	46

2.1.2. Aislamiento Térmico en paredes y ductos	51
2.1.3. Capacidad Térmica -----	59
2.2. RECUPERACION DE CALOR -----	60
2.2.1. Energía contenida en los gases de escape	64
2.2.2. Energía en el agua de enfriamiento -----	65
2.2.3. Recuperación de Condensado-----	67
2.3. FACTORES DETRIMENTALES -----	73
2.3.1. Incrustaciones en tubos de agua -----	73
2.3.2. Escape de fluidos de trabajo -----	77
CAPITULO III	
3. ANALISIS TERMODINAMICO -----	81
3.1. TRABAJO APROVECHABLE -----	82
3.1.1. Imposiciones de la Primera Ley de la Ter modinámica -----	84
3.1.2. Imposiciones de la Segunda Ley de la Ter modinámica -----	87
3.2. EFICIENCIA DE LOS PROCESOS -----	88
3.3. POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO EN LOS PROCESOS - TERMICOS -----	90
CAPITULO IV	
4. PROCESOS INDUSTRIALES -----	94
4.1. CLASIFICACION -----	96
4.2. ANALISIS DEL USO ENERGETICO EN LOS DIFERENTES - PROCESOS -----	96

## CAPITULO V

5. ANALISIS ECONOMICO DEL USO INDUSTRIAL DE LA ENERGIA -----	105
5.1. COSTO DE LA PRODUCCION DE ENERGIA--	106
5.2. COSTO DEL AISLAMIENTO TERMICO -----	109
5.3. COSTO DE SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR -----	112
5.4. ECONOMIA GLOBAL DEL PROCESO DE <u>AHO</u> RRO ENERGETICO -----	115

## CAPITULO VI

6. ANALISIS DE UN CASO DE ESTUDIO DE FABRI- CACION DE PAPEL -----	120
6.1. GENERALIDADES DEL PROCESO -----	121
6.2. DATOS DE PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA -----	123
6.3. CALCULOS Y RESULTADOS -----	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	142
APENDICES -----	146
BIBLIOGRAFIA -----	210

## INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAG.</u>
1	CONSUMO FINAL DE ENERGIA TOTAL POR SECTORES (1.979-1.982)-----	28
2	ESTRUCTURA DEL CONSUMO ENERGETICO EN LA INDUSTRIA (PERIODO 1972-1982)-----	29
3	SISTEMAS DE CONVERSION INDUSTRIAL-----	33
4	ESQUEMA DE FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA MASA DEL AISLAMIENTO-----	52
5	PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS----- a) CON ESPESOR OPTIMO DE AISLAMIENTO b) SIN AISLAMIENTO	56
6	VARIACION DE LAS PERDIDAS DE EFICIENCIA EN CALDERAS CON CAMBIOS EN EL USODA LA CAPACIDAD DE CARGA DEL CALDERO-----	61
7	APROVECHAMIENTO APROXIMADO DE LA EFICIENCIA POR LA DISMINUCION DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE-----	66
8	CALOR REMANENTE EN EL CONDENSADO ----	68
9	USO DEL CONDENSADO "FLASH-STEAM"-----	71
10	LOCALIZACION DE PUNTOS EN DONDE SE DEBE REALIZAR LOS ANALISIS QUIMICOS--	78

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
11	PERDIDAS DE CALOR POR FUGAS DE VAPOR--	80
12	DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL -----	124
13	COMPORTAMIENTO DEL CEE + Vs PRODUCCION DE PAPEL -----	129
14	DISTRIBUCION DE ENERGIA EN INDUSTRIA - NACIONAL DE PAPEL -----	149
E-1	PORCENTAJE DE PURGAS PARA MANTENER LA CONCENTRACION DE STD EN EL AGUA DEL CALDERO-----	156 156
F-1	DIAGRAMA DE OSTWALD-----	162
H-1	CORRELACION DE DATOS PARA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION LIBRE DESDE PLA CAS Y CILINDROS VERTICALES -----	175

## INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>PAG.</u>
I	AHORROS POTENCIALES DE ENERGIA EN ALG <u>U</u> NAS INDUSTRIAS (ECUADOR)-----	24
II	CONSUMO FINAL DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL (1.973 - 1.978)-----	36
III	POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL U.S.A. -----	39
IV	AHORROS POTENCIALES DE ENERGIA EN ALG <u>U</u> NAS INDUSTRIAS EN PAISES EN VIAS DE DESARROLLO.-----	40
V	PROPIEDADES FISICAS DE LOS REFRACTARIOS TIPICOS -----	48
VI	PROPIEDADES FISICAS DE ALGUNOS REFRAC- TARIOS PUROS Y DENSOS -----	49
VII	PERDIDAS DE CALOR TRANSMITIDAS AL EXTE <u>U</u> RIOR Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE CALOR DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS PARE <u>U</u> DES EN CONDICIONES DE EQUILIBRIO -----	50
VIII	PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS SIN AIS <u>U</u> LAR -----	53

## XVII

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
IX	PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS AISLADAS CON ESPESOR OPTIMO DE AISLAMIENTO ---	54
X	FUENTES DE CALOR RESIDUAL -----	63
XI	PERDIDAS DE CALOR DEBIDO A INCRUSTACIONES -----	75
XII	EJEMPLOS DE TRABAJO APROVECHABLE-----	83
XIII	CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA PARA ALGUNAS INDUSTRIAS EN U.S.A. -----	91
XIV	COMPARACION DE CONSUMOS ESPECIFICOS DE PROCESOS CONOCIDOS CON CONSUMOS ESPECIFICOS MINIMOS TEORICOS PARA ALGUNAS INDUSTRIAS EN U.S.A. -----	93
XV	USO DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA-1978	95
XVI	CLASIFICACION INTERNACIONAL UNIFORME - DE INDUSTRIAS (CIUI) -----	97
XVII	RAMAS INDUSTRIALES DE MAYOR CONSUMO DE ENERGIA EN EL ECUADOR -----	100
XVIII	CONSUMO FINAL DE ENERGIA TOTAL POR SECTORES -----	102
XIX	CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA EN ALGUNAS INDUSTRIAS EN EL ECUADOR -----	103
XX	CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA: CUADRO COMPARATIVO -----	104

## XVIII

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
XXI	PRODUCCION MENSUAL TIPOS DE PAPEL Y POR CENTAJES (INDUSTRIA NACIONAL DE PAPEL)	126
XXII	PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA DIARIO PARA MAQUINA PM1 DE INDUSTRIA NACIONAL DE PAPEL -----	127
XXIII	PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA DIARIO PARA MAQUINA PM2 DE INDUSTRIA NACIONAL DE PAPEL -----	128
XXIV	CONSUMO DE ENERGIA Y COSTOS MENSUALES - DE INDUSTRIA NACIONAL DE PAPEL -----	131
XXV	VARIACION DEL COSTO MARGINAL DE LA ENER <u>G</u> GIA EN RELACION AL COSTO DEL GALON DE RESIDUO -----	133
XXVI	VARIACION DEL COSTO MARGINAL DE LA ENER <u>G</u> GIA EN RELACION AL COSTO DEL GALON DE DIESEL -----	134
XXVII	RESUMEN TOTAL DE AHORROS DE ENERGIA(PRE <u>U</u> CIO DE LOS COMBUSTIBLES AL ULTIMO TRI <u>U</u> MESTRE, 1.984 ) -----	135
XXVIII	RESUMEN TOTAL DE AHORROS DE ENERGIA(SIN CONSIDERAR LA MEDIDA 2)-----	137
XXIX	RESUMEN TOTAL DE AHORROS DE ENERGIA(PRE <u>U</u> CIO DE LOS COMBUSTIBLES A ENERO DE 1985)	143

Nº

PAG.

F-1      VARIACION DE LA EFICIENCIA DE  
          COMBUSTION AL VARIAR EL EXCE-  
          SO DE AIRE -----

163

## INDICE DE APENDICES

- A      DETALLES DE CALDERAS DE VAPOR
- B      PRUEBAS DE COMBUSTION EN CALDEROS
- C      ESTIMACION DE PURGAS Y ANALISIS DE AGUA
- D      EFICIENCIA DEL CALDERO
- E      MEJORAS EN LA UTILIZACION DEL VAPOR
- F      REGULADOR DE BAJO NIVEL DE OXIGENO PARA CALDERAS DE  
VAPOR
- G      AISLAMIENTO EN TUBERIAS DE VAPOR
- H      AISLAMIENTO EN TUBERIA Y TANQUES DE CONDENSADO
- I      REPARACION DE FUGAS DE VAPOR
- J      MEJORAS EN LA RECUPERACION DEL CONDENSADO
- K      CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA
- L      INSTRUMENTACION
- M      CARTAS PARA EL CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR    EN  
TUBERIAS Y SUPERFICIES PLANAS

## INDICE DE ABREVIATURAS

ppm	PARTES POR MILLON
CEE	CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA
STD	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS
psi	LIBRA POR PULGADA CUADRADA
psig	LIBRA POR PULGADA CUADRADA MANOMETRICA
$q_k$	CALOR TRANSMITIDO POR CONDUCCION
k	CONDUCTIVIDAD TERMICA $\frac{\text{BTU}}{\text{hr pie } ^\circ\text{F}}$
T	TEMPERATURA
$F_p(f_p)$	FACTOR DE POTENCIA
Nu	NUMERO DE NUSSELT
Pr	NUMERO DE PRANDTL
Gr	NUMERO DE GRASHOF
$c_p$	CALOR ESPECIFICO A PRESION CONSTANTE ( $\frac{\text{BTU}}{\text{lbm}^\circ\text{F}}$ )
$\rho$	DENSIDAD $\text{lbm/pie}^3$
$\beta$	COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE EXPANSION VOLUMETRICA ( $\frac{1}{^\circ\text{F}}$ )
g	GRAVEDAD ( $\frac{\text{pie}}{\text{seg}^2}$ )
$\mu$	VISCOSIDAD ABSOLUTA ( $\frac{\text{lbm}}{\text{pie}\cdot\text{seg}}$ )
hc	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION $\frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2^\circ\text{F}}$
KJ	KILO JOULE ( $10^3$ JOULE)
GJ	GIO JOULE ( $10^9$ JOULE)

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

Hace ya más de una década, el principal recurso para la producción de energía se desarrollaba en torno a los derivados del petróleo, debido principalmente a su gran disponibilidad y bajo costo.

Posteriormente la OPEP (Organización de países exportadores de Petróleo) realizó un incremento notable en el precio por barril, dejando sin mayor opción a los países que dependían de este recurso como fuente primaria de energía. Estos hechos permitieron que se produzca, por un lado, la revisión de las antiguas fuentes de energía que podrían suplir la demanda de petróleo, por otro lado, la búsqueda a un plazo más o menos corto de nuevas fuentes alternas de energía y por último la revisión casi inmediata, de la eficiencia con que se realizaban los procesos industriales, con el fin de determinar una posible reducción del consumo de energía mediante el uso racional de la misma.

La medida en que se lograron estos objetivos ha de

pendido del avance tecnológico de los países, y de la implementación de medidas de conservación impuestas por organismos gubernamentales.

En los países subdesarrollados el impacto ha sido variado, dependiendo de la existencia o no del petróleo. El Ecuador, si bien dispone del producto, su economía se sustenta en un 60 o/o en la comercia-lización del mismo.

Es por esto que organismos nacionales, como el Instituto Nacional de la Energía (INE) se interesó en evaluar el potencial de conservación energética, a través del análisis de industrias de mayor consumo y encontró que es posible realizar economías de -energía en aproximadamente el 30 o/o (Tabla I ) del consumo actual de esas industrias.

Sin embargo los niveles reales de ahorro que se logren dependerán de:

- Tipo de industria y proceso
- Características de las medidas de conservación que se sugieran e implementen.
- Factores económicos involucrados en los proyectos de -conservación.

TABLA I  
 AHORROS POTENCIALES DE ENERGIA EN ALGUNAS INDUSTRIAS

PRODUCTO	PLANTA	EXCESO DE ENERGIA	AHORROS
Azúcar	A	54 o/o	35 o/o
	B	82 o/o	45 o/o
Cemento	A	18 o/o	15 o/o
	B	54 o/o	35 o/o
	C	18 o/o	15 o/o
Textiles	A	67 o/o	40 o/o
	B	43 o/o	30 o/o
	C	100 o/o	50 o/o
Cerámica	A	14 o/o	12 o/o
P R O M E D I O :		54 o/o	31 o/o

=====

Fuente: Conservación energética en el Ecuador por Jan Jasiewicz INE (Quito).Ref.(8).

- A nivel oficial, de la política que hacía el fomento de la Conservación Energética desarrolle el Gobierno (tales como la Ley de Fomento de Energías no Convencionales. Registro Oficial Nº 223 del 16 de Abril de 1.982).

La determinación de las medidas de conservación energética más apropiadas para una industria particular requiere de una evaluación metodológica y relativamente detallada de sus procesos y componentes. Existe ya a la presente, un campo denominado Conservación Energética Industrial, que analiza estos componentes y promueve el uso más eficiente de la Energía sin menoscabar los niveles de producción. Su aplicación en el Ecuador, sin embargo se encuentra todavía en etapas muy incipientes.

El presente trabajo realiza una evaluación, dentro de este contexto, para determinar el estado en que se encuentra una industria en particular, la industria de papel, relativo al uso eficiente y productivo de sus recursos energéticos. Se plantean como resultados una serie de recomendaciones (medidas) sobre conservación en esta industria en particular.

## CAPITULO I

### 1. EL PROBLEMA

Siendo los procesos industriales los que utilizan la mayor parte de la energía de una nación, es aquí - donde más preocupa a las grandes potencias, países - altamente industrializados, la conservación de la energía.

Estando nuestro país en la lista de los países del tercer mundo y siendo de interés del gobierno que lo dirige conseguir una disminución del consumo energético sin que esto influya en su crecimiento tanto industrial como económico, es indispensable que países como el nuestro muestren un marcado interés al análisis y estudio de las soluciones que a los problemas de energía han dado ya estos países y tratar de aplicarlos en el nuestro.

A pesar de que las estadísticas nos muestran un mayor consumo de energía en el sector transporte, el

consumo industrial es significativo (Figura N° 1), hay que indicar que la reducción del consumo entre los años 1.980 - 1.982, se debe fundamentalmente a la disminución de la actividad azucarera que causó una baja en el uso del bagazo, que hasta el año 1.981, era el segundo combustible más usado en este sector.

Esta situación se la puede analizar más claramente en la figura N° 2, en la que se cuantifica el desarrollo de la estructura del consumo energético en el sector industrial.

Estudios realizados por el INE (Instituto Nacional de la Energía), demuestran que el potencial de ahorro que existe en el Ecuador justifica emprender un programa de acción a fin de racionalizar el consumo energético. Este mismo organismo señala:

"A pesar de que la participación del insumo energía es relativamente baja dentro de la estructura de costos del sector, debido principalmente a los bajos precios de la energía, un ahorro del 30 o/o de este insumo, en la mayoría de los casos puede resultar suficiente como para amortizar a corto plazo algunas de las inversiones necesarias que deban realizarse para alcanzar este objetivo".....

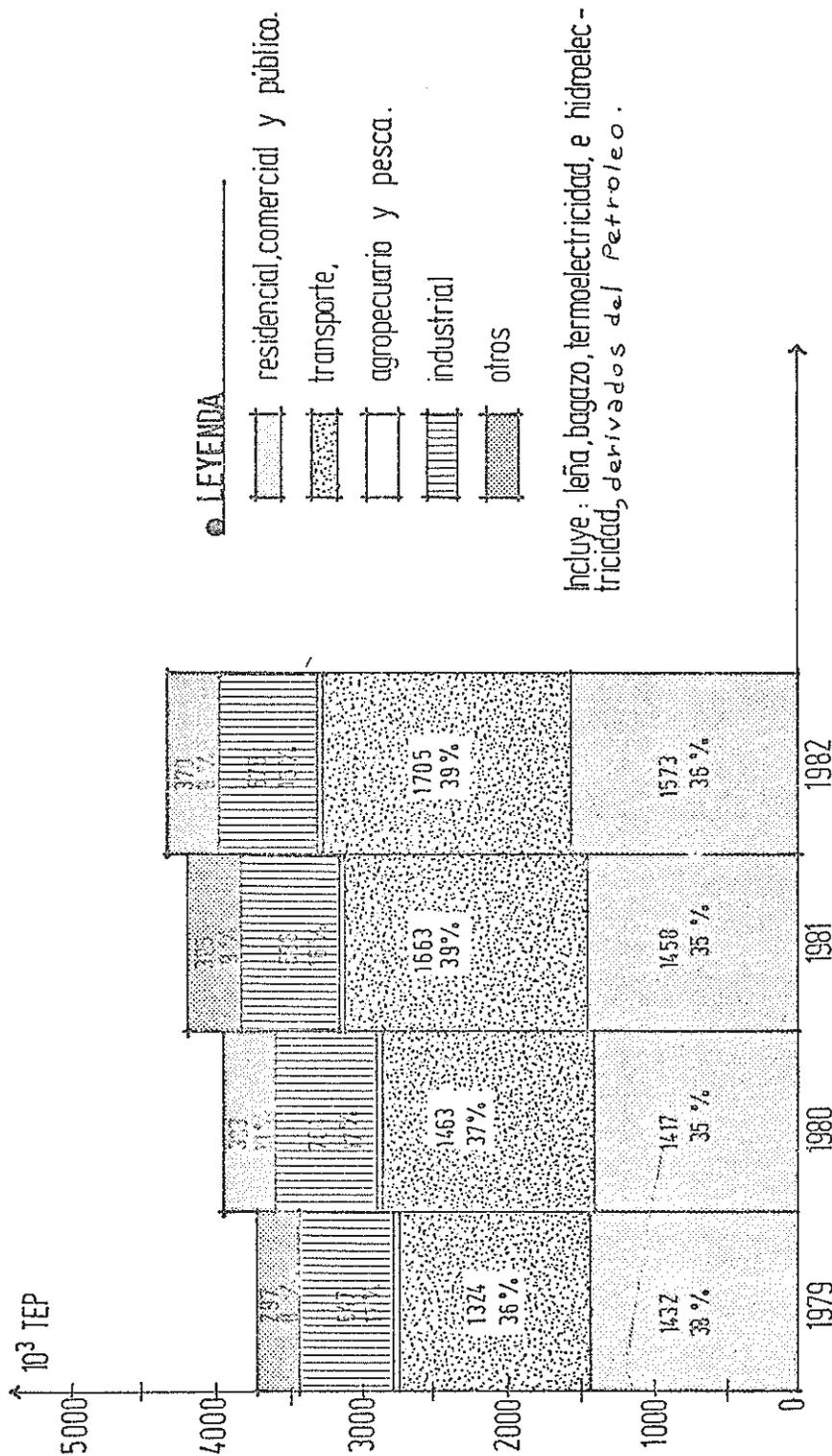


Fig. 1 Consumo final de energía total por sectores periodo 1979 - 1982

FUENTE: Ref. (10)

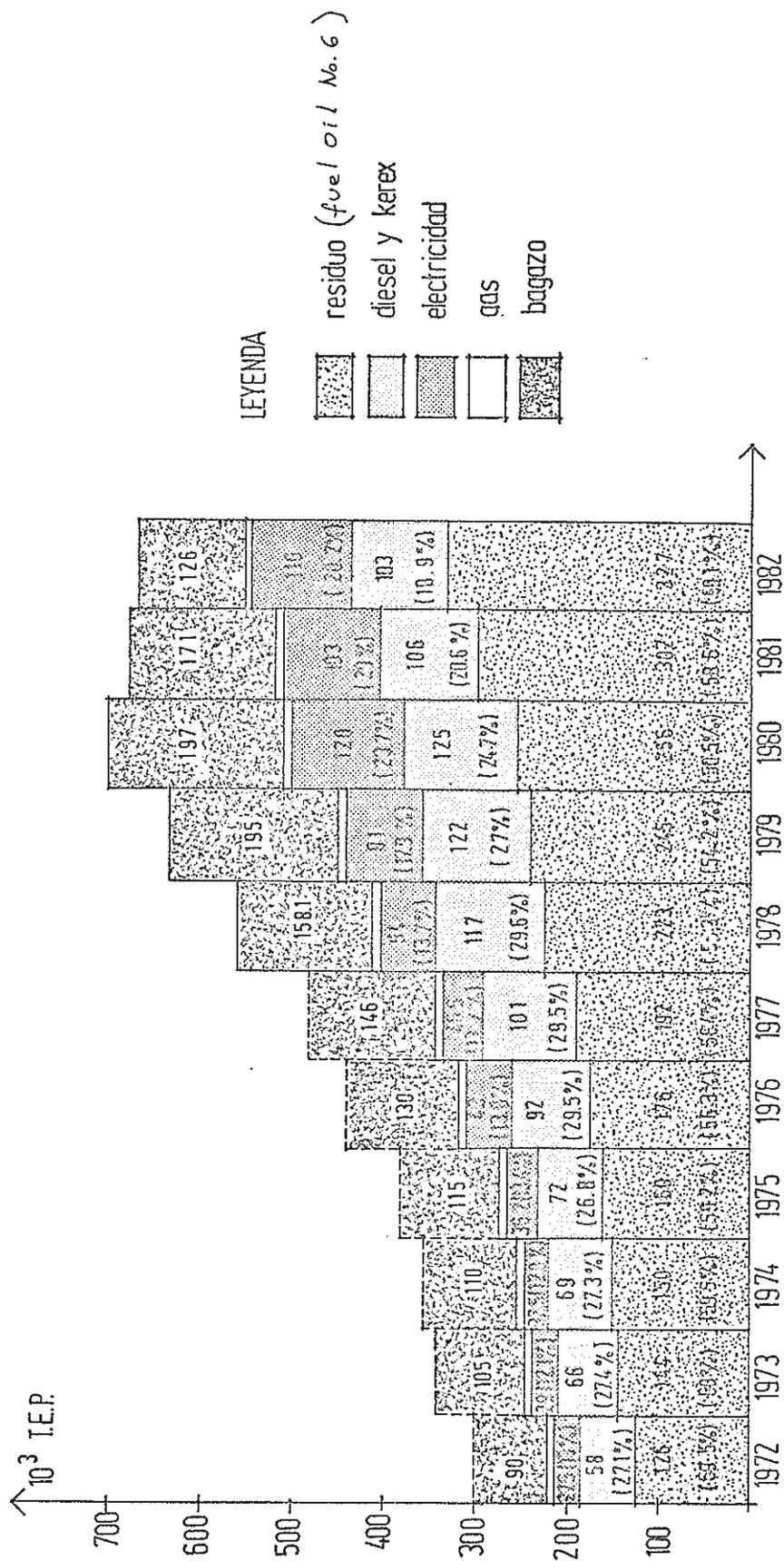


Fig. 2 Estructura del consumo energetico\* en la industria (periodo 1972-1982)

\* energía comercial + bagazo

FUENTE: Datos de referencia: Vernet P. Villavicencio A. Balances energeticos I parte; Analisis del consumo final, Quito 1980;

Kublanck P, López A. Balances energeticos del Ecuador, serie historica 1979-1982 - Quito 1983

"Economizar energía no significa solamente aumento en la capacidad de exportación de petróleo; sino que significa también ahorros sustanciales en los recursos destinados a los proyectos de electrificación, exploración y refinación de petróleo; significa así mismo la disponibilidad de mayores recursos para proyectar prioritarios de otros recursos que en la actualidad son absorbidos en gran parte por el sector energético".

Es dentro de este contexto que el estudio de los factores térmicos que inciden en el potencial de conservación energética industrial es importante.

En el Ecuador hay mucho por hacer sobre este punto, pero organizaciones nacionales e internacionales conscientes del problema que para nosotros se avecina y que para los países industrializados es ya una realidad, están trabajando constantemente en el estudio de fuentes no convencionales de energía entre otras las de origen eólico solar, biomasa, geotérmica, para suplir la escasez mundial del petróleo por un lado y por otra para disminuir los costos de los productos. Pero también la racionalización energética o mejor aún la conservación energética industrial es también una de las formas de prolongar un poco más los recursos naturales de

energía.

### 1.1. USO DE LA ENERGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES

Para comprender mejor los patrones del consumo de energía por el sector industrial es importante analizar y clasificar las aplicaciones de la energía en los diferentes procesos.

La energía dentro de los procesos industriales puede ser usada para:

- Generación de vapor en calderas, para procesos y autogeneración eléctrica en turbinas.
- Procesos de calentamiento directo, para hornos.
- Carga de alimentación, donde el combustible es usado como un ingrediente en el proceso.
- Movimientos mecánicos, en motores, maquinaria pesada.
- Alumbrado.

Si observamos una planta industrial como a un sistema vemos que mientras por un lado tenemos materia prima y mano de obra para las entradas de energía y por

otro lado la salida de productos, desperdicio de energía y de materiales, figura N° 3. Con el fin de maximizar beneficios la Gerencia tiende a mantener los costos de entrada tan bajos como sea posible.

En la mayor parte de los casos, a consecuencia de los bajos costos de energía en relación a los otros elementos de entrada, estos son ignorados. Sin embargo con la inminente subida del precio de la energía, más atención debemos dar a la entrada de energía.

Ahorros de energía pueden ocurrir ya sea mejorando los procesos de conversión de energía, mediante el reciclaje de la energía desperdiciada o reusando los materiales desechados.

Muchas oportunidades existen para la aplicación de tecnologías existentes para lograr ahorros apreciables, pero en orden de identificar estas áreas para el ahorro es menester identificar cuáles son las áreas de actividad en la cual pueda existir potencial significativo para un mejor uso de la energía y dentro de estas áreas identificar las medidas específicas de las diversas alternativas que puedan conducir a un mejor y más eficiente uso de la energía.

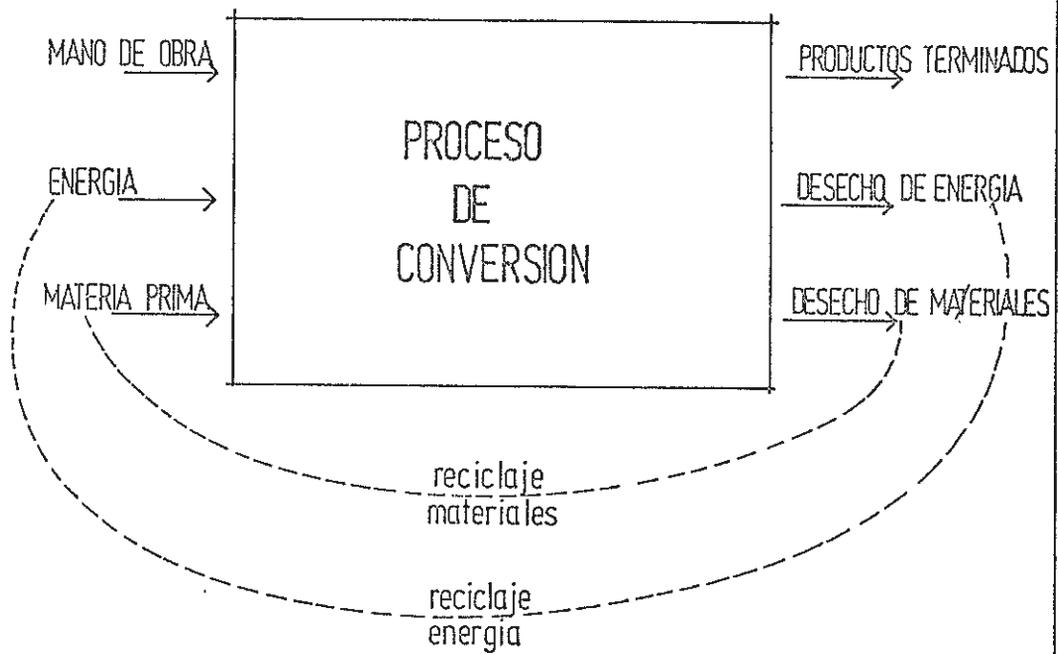


FIG. 3 Sistemas de conversión industrial

Para la fabricación de cualquier conjunto de productos dados hay una cierta cantidad mínima de energía requerida dependiendo de factores básicos tales como las materias primas seleccionadas, el proceso de fabricación adoptado y el nivel de producción que se quiere mantener.

Más allá de este valor límite, un balance económico debe ocurrir entre el costo incremental de equipos más eficientes o técnicas y el valor de la energía que pueda ser ahorrada por estos medios. En una época de energía barata y fácilmente disponible y recursos abundantes la economía de energía y la conservación de energía no han sido necesariamente sinónimos o ni siquiera compatibles, pero el aumento de los costos de los combustibles traerá como consecuencia que estas consideraciones no sean una virtud sino un objeto de interés nacional.

Muchos factores diferentes afectan el uso de la energía para un uso particular. Entre los más importantes tenemos:

- Costos de capital y combustible
- Costos de operación y mantenimiento
- Tecnología del proceso

- Confiabilidad del equipo
- Disponibilidad de suministro de combustible
- Requerimiento de trabajo
- Requerimientos de espacio
- Factores regulatorios (ambiental, seguridad, etc.)

Para determinar ya sea que fuese posible reducir nuestra demanda por combustible significativamente, mejorando la eficiencia de utilización de combustible, uno debe estudiar los procesos que son responsables del consumo de combustibles y la eficiencia con que estos son usados en estos procesos.

Sin embargo conocemos cuanta energía es consumida por diferentes tipos de industria (TABLA II), pero es difícil estimar cuanta energía podría ser ahorrada por diseños de Conservación de Energía en equipos de procesos industriales.

A consecuencia del bajo costo de la energía (del orden del 3 - 5 o/o del precio del producto) se presume que la industria simplemente no considerará el uso de la energía eficientemente en sus procesos de producción.

MONTY FINNESTIR (1), manifiesta que menos del cincuenta por ciento de la energía consumida a través del mun

TABLA II

CONSUMO FINAL DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL  
1.973 - 1.978

	1.973	1.974	1.975	1.976	1.977	1.978
	10 <sup>3</sup> TEP					
MINERALES NO METALICOS a)	92 (38 %)	110 (43%)	113 (42%)	130 (42%)	144 (42%)	170 (43%)
ALIMENTOS, BEBIDAS, TABACO b)	71 (29 %)	69 (27%)	71 (26%)	81 (26%)	83 (24%)	98 (25%)
TEXTILES, CUERO, MADERA Y PAPEL	55 (23 %)	54 (21%)	63 (23%)	68 (22%)	77 (23%)	85 (21%)
QUIMICA c)	12 (5 %)	9 (4 %)	11 (4 %)	15 (4 %)	16 (5 %)	19 (5 %)
METAL MECANICA BASICA Y OTRAS	10 (4 %)	10 (4 %)	11 (4 %)	16 (5 %)	19 (5 %)	22 (5 %)
MINERIA d)	1 (1 %)	1 (1 %)	1 (1 %)	2 (1 %)	2 (1 %)	2 (1 %)
T O T A L	241	253	270	312	341	396
10 <sup>3</sup> TEP	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

a. En su mayor parte materiales de construcción (cemento)

b. No incluye bagazo

c. No incluye refinación de petróleo y de petroquímica

d. No incluye extracción de petróleo y gas

Fuente: Ref (15) pp. 34

do es utilizada eficientemente, el resto es desperdiciada en pérdidas de:

- Conversión
- Calor de radiación
- Agua de enfriamiento; y,
- Otras : formas.

Charles Berg indica que sería razonable asumir que - ahorros de energía de aproximadamente 30 o/o podría - realizarse a través de tecnologías presentes de conservación de energía, aplicada en los procesos industriales. (1).

La efectividad con que la energía es usada en la industria varía grandemente dependiendo de la naturaleza de la industria y del tamaño de la planta. El también afirma que la invención de dispositivos más eficaces, procesos más eficaces y especialmente la institucionalización de una metodología para la administración del desperdicio del calor en las plantas se puede esperar que se obtenga mayores ahorros de energía en la industria más haya del 30 o/o.

Un gran número de proyecciones se han realizado - acerca del potencial de la conservación de energía en los Estados Unidos.

Exxon ha proyectado que la reducción de la demanda industrial será el 30 o/o para 1.990. David - Freedman ha proyectado un mayor potencial de ahorro energético en el sector industrial (TABLA III).

En la tabla IV se observa el potencial de ahorro - energético de un grupo de industrias en países en vías de desarrollo, considerando medidas de corto y mediano plazo (7).

## 1.2. IDENTIFICACION DE LOS FACTORES TERMICOS DE IMPORTANCIA

Dentro de los procesos industriales existen una gran cantidad de oportunidades de ahorro energético desde aquellas que involucran cambios sustanciales hasta las que significan identificación de obvias áreas de ineficiencia energética.

Consecuentemente las primeras representan inversiones de grandes capitales y las segundas inversiones que pueden facilmente financiarse, inclusive con el mismo ahorro generado en la implementación de las medidas de conservación.

TABLA III  
 POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL U.S.A. (10<sup>9</sup>GJ)

POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL U.S.A. (10 <sup>9</sup> GJ)	1985	2000
POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL U.S.A. (10 <sup>9</sup> GJ)	46	87
AHORROS POTENCIALES		
Industria de uso energético intensivo	4.3	13.1
Diversos procesos de vapor	0.5	3.5
Calor directo	2.9	5.4
Otros	2.5	7.4
<b>Total de Ahorros</b>	<b>10.2</b>	<b>29.4</b>
<b>Porcentaje de ahorro</b>	<b>22.2 o/o</b>	<b>33.0 o/o</b>
MEDIDAS DE CONSERVACION Procesos de producción más eficientes, en industrias de papel aluminio, plástico, cemento y acero. Co-generación industrial de vapor y electricidad. Uso de recuperadores de calor y regeneradores con uso directo del combustible en lugar de calor de resistencias eléctricas.		

Fuente: \_\_\_\_\_ a time to choose: America's Energy future copyright, 1974, publicado por M. Chiogioji "Industrial Energy Conservation".

TABLA IV

Ahorros potenciales de energía en algunas industrias en países en vías de desarrollo

INDUSTRIA	PRODUCTO / PROCESO	CONSUMO ESTIMADO ENERG. COMERCIO (10 <sup>9</sup> TEP)	AHORRO POTENCIAL DE ENERGÍA (10 <sup>6</sup> TEP/AÑO)		TOTAL
			A	B	
HIERRO Y ACERO	Materia prima y acero acabado	109.0	3.3 - 7.6	16.3 - 21.8	19.6 - 29.4
PETROLEO	Refinación	54.0	3.8 - 6.5	8.1 - 13.5	11.9 - 20.0
CEMENTO	Todos los procesos	52.0	5.7 - 7.0	9.1 - 14.3	14.8 - 21.3
QUIMICA	Amoniaco	19.0	0.4 - 0.9	3.8 - 4.1	4.2 - 5.0
ALIMENTOS	Refinación de caña de azúcar	17.5	2.8 - 3.2	2.6 - 5.2	5.4 - 8.4
PULPA Y PAPEL	Todo tipo	15.0	1.6 - 2.2	1.8 - 2.3	3.4 - 4.5
MATERIALES DE CONSTRUCCION	Vidrios	14.5	1.5 - 1.7	2.2 - 2.9	3.7 - 4.6
ELECTROMETALURGIA	Aluminio (desde alumina)	13.0	0.3 - 0.5	1.3 - 2.0	1.6 - 2.5
TEXTILES	Acabado	3.8	0.5 - 0.6	0.6 - 0.7	1.1 - 1.3
MATERIALES DE CONSTRUCCION	Ladrillos	8.5	0.9 - 1.3	1.3 - 1.8	2.2 - 3.1
TOTAL 10 PRODUCTOS		306.3 (47%)	20.8 - 31.5	47.1 - 68.6	67.9 - 100.1
OTROS PRODUCTOS (ESTIMADO)		340.3 (53%)	17.0 - 34.0	34.0 - 51.0	51.0 - 85.0
TOTAL		646.6 (100%)	37.8 - 65.5	81.1 - 119.6	118.9 - 185.1

A: Medidas de corto plazo      B: Medidas de mediano plazo

FUENTE: Hagler, Bailly, & Company.

Entre los factores que representan ahorros energéticos significativos tenemos:

- Aislamiento térmico en superficies calientes o frías.
- Incrustaciones en tubos de agua
- Fugas de vapor u otros fluidos térmicos
- Ineficiencia de combustión en calderos, hornos, etc.
- Recuperación de calor de gases de escape, en calderos, hornos, secadores, etc.
- Recuperación de condensado

Existen otros factores que inciden directamente en el aprovechamiento energético industrial la conservación eléctrica. Dentro de este punto específicamente tres aspectos importantes:

- Control de la demanda en los equipos de producción.
- Corrección del factor de potencia e,
- Iluminación.

### 1.3. OBJETIVO DEL AHORRO ENERGETICO

La creciente subida de los precios de los combustibles así como su incidencia en los costos de producción son las bases para la implementación a nivel nacional de un programa de conservación energético que per

mita usar más eficientemente la energía en la in du st ri a. Cuando la energía es usada eficientemente - los costos de producción pueden ser reducidos y con sec uen tem en te se puede enfrentar más fácilmente un incremento en el costo de la energía.

La energía consumida en la industria representa en la actualidad más del 17 o/o del consumo total na ci onal, por lo tanto un ahorro energético a nivel industrial incidiría también en beneficios a nivel nacional.

Otra de las metas que se desea conseguir con un plan de ahorro energético industrial es la de pre ser var las fuentes de energía no renovables para el futuro ya que la economía del país se sustenta en las exportaciones de este producto.

## CAPITULO II

### 2. FACTORES TERMICOS A CONSIDERARSE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

Las oportunidades de ahorro energético se pueden enmarcar en tres grandes categorías.

#### a. Medidas de Mantenimiento:

Tendientes a la conservación energética por ejemplo reparación de fuga de vapor, reemplazo de trampas de vapor, reparación de aislamiento térmico, entre otras.

#### b. Modificación de Equipos y Procesos:

Puede aplicarse al diseño de nuevos equipos incorporados al proceso para recuperación de calor, condensado o para hacer mejor y más eficiente los procesos de producción.

#### c. Integración de Operaciones:

Mejoras en la utilización de equipos del proceso productivo de manera que se considere la posibilidad de utilizar por tiempos más largos y menos frecuentes algún equio

po para evitar pérdidas innecesarias de energía. Esto especialmente para evitar sobrepasar la demanda máxima de energía eléctrica y evitar el continuo arranque de equipos eléctricos.

De estas medidas las que requieren menor inversión de capital son las medidas de mantenimiento, las mismas que requieren conocimiento de los siguientes elementos:

- Comprensión de los principios básicos de la energía y de su uso en la planta.
- Establecer un registro del consumo energético total en un período dado, y los productos obtenidos en ese período.
- Establecer e identificar los equipos de mayor consumo energético.
- Crear y comunicar un plan de acción.
- Obtener un registro de consumo específico de energía.

## 2.1. PERDIDAS TERMICAS

Cualquier desperdicio de energía, por pequeño que

parezca, constituye un elemento importante para analizarlo y cuantificarlo, ya sea en término de la cantidad de GJ/hr o los sures/hora desperdiciados.

Las pérdidas térmicas constituyen en un proceso el calor que no realiza una función útil. Es pues necesario eliminarlo o por lo menos minimizarlo - de tal forma que su presencia no constituya un desperdicio energético/económico, considerable.

Para reducir las pérdidas térmicas en un proceso existen muchos métodos pero si lo que se quiere es reducir las pérdidas en tuberías o superficies que transportan vapor y que operan a temperaturas diferentes a la temperatura ambiente, el aislamiento térmico constituye un elemento importante para alcanzar este objetivo. Sección 2.1.2.

Muchos factores influyen en las pérdidas térmicas entre otros los siguientes.

- Temperatura de operación.
- Temperatura ambiente.

- Emisividad de la superficie
- Velocidad del aire
- Posición y forma.

### 2.1.1. Resistencia Térmica en paredes

Es la propiedad que tienen los materiales de oponerse al paso del calor (energía).

Dentro de un flujo de calor el potencial causante del flujo es la diferencia de temperaturas entre los dos cuerpos o entre una región del cuerpo a otra región del mismo cuerpo.

La cantidad de energía calórica que transmite un cuerpo está determinado por la resistencia del cuerpo al flujo de calor.

$$\text{Resistencia Térmica} = \frac{\text{Espesor del cuerpo}}{\text{Conductividad del cuerpo}}$$

Es entonces necesario conocer las conductividades térmicas de los diferentes materiales que constituyen un elemento ais

lante en paredes de hornos, calderas, para de esta manera conocer si el elemento - aislante está cumpliendo su función eficientemente, Tablas N° V y VI.

Los refractarios aislantes son de una clase que contienen arcillas refractaria o caolín altamente porosos. Son ligeros de baja conductividad térmica y no obstante, suficientemente resistentes a la temperatura para ser usados con éxito sobre el lado caliente de la pared de un horno o caldera, permitiendo así muros delgados de baja conductividad térmica y bajo contenido de calor. El bajo contenido de calor es particularmente valioso para el ahorro de combustible y tiempo al elevar la temperatura del horno o caldera, y permite que se hagan cambios rápidos de temperatura.

En la tabla VII. se dan las pérdidas de calor y contenido calorífico de cierto número de combinaciones de paredes para poder rediseñar paredes de hornos que se adapten a los propósitos de conservación ener

PROPIEDADES FISICAS DE LOS REFRACTARIOS TIPIICOS

No. del refractario	Punto de fusión		Deformación bajo carga, % a la temp en °F y a las lb/pulg <sup>2</sup> indicadas	Resistencia al machaqueo	Contracción por recalentamiento después de 5 h, % (°F)	Peso del ladrillo testar de golar de 9 pulg. lb
	Grados F	Como pirométrico				
1. Alúmina (fundida)	3390+	39+	1 a 2 730 y 30	Buena	+0.5 (2910)	9-10.6
2. Cromo	3360+	41+	Se corta a 2 740 y 28	Mala	-0.5 a 1.0 (3000)	11.0
3. Cromo (sin cocer)	3380+	41+	Se corta a 2 955 y 28	Aceptable	-0.5 a 1.0 (3000)	11.3
4. Arcilla refractaria (servicio alto)	3060-3170	31-33	2.5-10 a 2 460 y 25	Buena	±0 a 1.5 (2550)	7.5
5. Arcilla refractaria (super servicio)	3170-3200	33-34	2-4 a 2 640 y 25	Excelente	±0 a 1.5 (2910)	8.5
6. Foresterita	3430	40	10 a 2 930	Aceptable	.....	9.0
7. Alto en alúmina	3390	36	1-4 a 2 640 y 25	Excelente	-2 a 4 (2910)	7.5
8. Caolin	3580+	41+	0.5 a 2 640 y 25	Excelente	-0.7 a 1.0 (2910)	7.7
9. Magnesita	3360+	41+	Se corta a 2 765 y 28	Mala	-1 a 2 (3000)	10.0
10. Magnesita (sin cocer)	3550+	41+	Se corta a 2 940 y 28	Aceptable	-0.5 a 1.5 (3000)	10.7
11. Magnesita (fundida)	2640-3000	16-30	Se corta a 2 900 y 25	Buena	+0.5 a 0.8 (2640)	6.5
12. Porcelana refractaria	3060-3090	31-32	0-1 a 2 730 y 30	Mala <sup>b</sup>	+2 (2910)	8-9.3
13. Silice	3308	39	0-0.5 a 2 640 y 25	Excelente	-0 a 0.8 (2910)	8.5
14. Carburo de silicio (aglutinado de arcilla).	3310-3340	37-38	0.3 a 2 200 y 10	Buena	-0.2 (2600)	2.25
15. Silimanita (mullita)	2980-3000	29-30				
16. Ladrillo refractario aislante (2600°F)						

No. de refractario	Porosidad	Cabr específico, 60-1 200°F	Coeficiente medio de dilatación térmica a partir del punto de contracción a 60°F x 10 <sup>5</sup>	Conductividad térmica media, lbm/(pie <sup>2</sup> ·h) (°F)/(pulgada de espesor)						
				200	400	800	1200	1600	2000	2400
1	20-26	0.20	0.43	..	20	22	24	27	30	32
2	20-26	0.20	0.56	..	6	9	10	11	12	12
3	10-12	0.21								
4	15-25	0.23	0.25-0.30	5	6	7	8	10	11	12
5	12-15	0.23	0.25-0.30	6	7	8	9	10	12	13
6	23-26	0.25								
7	26-36	0.23	0.24	6	7	8	9	10	12	13
8	18	0.22	0.23	..	..	..	..	..	..	..
9	20-26	0.27	0.56-0.83	..	..	..	..	..	..	..
10	10-12	0.26								
11	20-30	0.27	0.56-0.80	..	..	..	..	..	..	..
12	..	0.23	0.30	..	..	..	..	..	..	..
13	20-30	0.23	0.464	..	..	..	..	..	..	..
14	13-26	0.20	0.24	..	..	..	..	..	..	..
15	20-25	0.23	0.30	..	..	..	..	..	..	..
16	75	0.22	0.25	..	..	..	..	..	..	..

<sup>a</sup>Muchos de estos datos se han tomado de una tabla preparada por Trostel, *Chem. Met. Eng.*, noviembre de 1938.  
<sup>b</sup>Excelente si se coja a más de 1 200°F.  
<sup>c</sup>Ambifera oxidante.  
<sup>d</sup>Hasta 0.56 al rojo.

Fuente: Ref. (12) pp.6.176 - 6.177.

TABLA VI

PROPIEDADES FISICAS DE ALGUNOS REFRACTARIOS PUROS Y DENSOS (\*)

Material	Densidad, por cm <sup>3</sup>	Módulo de ruptura, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup> a 70°F	Módulo de ruptura, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup> a 1 800°F	Módulo de elasticidad, lb/pulg <sup>2</sup> × 10 <sup>5</sup> a 70°F	Punto de fusión, °F	Coefficiente lineal de expansión, 10 <sup>-6</sup> pulg/pulg, °F entre 55 y 1 800 °F	Conductividad térmica, Btu/(pulg)(pie <sup>2</sup> )(h)(°F) a 212°F	Conductividad térmica, Btu/(pulg)(pie <sup>2</sup> )(h)(°F) a 1 800 °F	Calor específico, Btu/(lb)(°F)	Resistencia a los esfuerzos térmicos	Resistividad eléctrica, Ω·cm a 70°F	Resistividad eléctrica, Ω·cm a 1 800°F
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.97	100	60	53	3690	5.0	210	55	0.26	Buena	< 10 <sup>-14</sup>	10 <sup>7</sup>
BeO	3.03	20	10	45	4660	4.9	1450	130	0.50	Muy buena	> 10 <sup>-14</sup>	10 <sup>8</sup>
MgO	3.58	14	12	31	5070	7.5	240	47	0.25	Mala	> 10 <sup>-14</sup>	10 <sup>7</sup>
ThO <sub>2</sub>	10.00	12	7	21	5520	5.0	62	20	0.06	Aceptable	< 10 <sup>-14</sup>	10 <sup>7</sup>
ZrO <sub>2</sub>	5.60	20	15	22	4600	5.5	15	15	0.14	Aceptable	10 <sup>-8</sup>	500
UO <sub>2</sub>	10.96	12	15	25	5070	5.6	58	20	0.06	Aceptable	10 <sup>-8</sup>	500
SiC	3.22	24	24	68	5000+	2.2	390	145	0.20	Excelente	10	10
BC	2.52	50	40	42	4440	2.5	260	145	0.36	Buena	0.5	10 <sup>4</sup>
BN	2.25	7	1	12	5000	2.6	150	130	0.39	Buena	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>4</sup>
MoSi <sub>2</sub>	6.20	100	40	50	3800	5.1	220	100	0.11	Buena	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
C	2.22	3	4	2	7000	2.2	870	290	0.34	Buena	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>

Factores de conversión: 1 lb/pulg<sup>2</sup> = 6,895 N/m<sup>2</sup>; °C = (°F - 32)/1.8; 1 Btu/(pie<sup>2</sup>)(h)(°F)(pulg) = 225 W/(m<sup>2</sup>)(°C)(m); 1 Btu/(lbm)(°F) = 4 190 J/(kg)(°C).

\* Porosidad, 0 a 5%.

† Estabilizado

Bibliografía: Norton: *Refractories*, 3a ed. Green y Stewart: "Ceramics: A Symposium". Ryschkeiwisch: *Oxydtriamik der Einstrahlssysteme*, Springer. Campbell: *High Temperature Technology*. Kingery: *Property Measurements of High Temperature*, Wiley.

TABLA VII

PERDIDAS DE CALOR TRANSMITIDAS AL EXTERIOR Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE CALOR DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS PAREDES EN CONDICIONES DE EQUILIBRIO.

Espesor, pulgadas		Temperatura de la cara caliente, °F									
Muro	Formado con ladrillo refractario aislante o ladrillo refractario	1200		1600		2000		2400		2800	
		HL	HS	HL	HS	HL	HS	HL	HS	HL	HS
4½	4½ 20	355	1 600	537	2 300	755	2 900				
	4½ 28	441	2 200	658	3 100	932	4 000	1 241	4 900	1 509	5 900
	4½ FB	1 180	8 400	1 870	11 700	2 660	14 800	3 600	18 100	4 640	21 600
7	4½ 28 + 2½ 20	265	3 500	408	4 900	567	6 500	751	8 100	970	9 800
	4½ FB	423	12 500	660	17 700	917	23 000	1 248	28 200		
9	4½ 28 + 4½ 20	203	4 100	311	5 900	432	7 900	573	9 900	738	12 200
	4½ FB + 4½ 20	285	13 700	437	19 200	615	24 800				
	9 20	181	3 100	280	4 300	395	5 500				
	9 28	253	4 100	349	5 800	480	7 500	642	9 300	818	11 100
	9 FB	658	15 800	1 015	21 600	1 430	27 600	1 900	34 000	2 480	40 300
11½	9 28 + 2½ 20	169	5 700	260	8 000	364	10 500	484	13 100	623	15 800
	9 FB + 2½ 20	335	22 300	514	31 400	718	40 600	962	50 400	1 233	60 300
	9 28 + 4½ 20	143	6 500	217	9 300	305	12 300	404	15 300	514	18 700
	9 FB + 4½ 20	241	24 100	367	34 500	516	44 800	690	55 100		
13½	9 20 + 4½ FB	165	5 300	255	7 300	348	9 900				
	9 28 + 4½ FB	200	6 900	302	9 700	415	12 600	556	15 700	710	19 100
	13½ FB	452	22 300	700	31 000	980	39 900	1 310	49 100	1 683	58 300
16	13½ FB + 2½ 20	275	31 200	423	43 300	588	56 300	780	70 000	994	84 200
18	9 20 + 9 FB	147	6 500	225	11 900	319	15 700				
	9 28 + 9 FB	175	10 700	266	15 100	375	19 700	493	24 600	635	29 800
	13½ FB + 4½ 20	210	34 100	312	43 600	440	62 600	587	77 500	753	92 600
	18 FB	355	28 800	532	40 300	745	52 200	1 000	64 200	1 283	76 500
20½	18 FB + 2½ 20	234	39 000	356	55 400	500	72 000	665	89 200	847	107 000
22½	18 FB + 4½ 20	182	43 200	281	61 000	392	79 200	519	97 700	667	117 600
	22½ FB	287	36 000	435	49 500	612	64 100	814	78 800	1 040	93 400

Factores de conversión: 1 pulgada = 2.54 cm; °C = (°F - 32)/1.8  
 HL = pérdida de calor en Btu/(pie<sup>2</sup>)(h). HS = capacidad de almacenamiento de calor en Btu/pie<sup>2</sup>; 20 = ladrillo refractario aislante a 2 000°F; 28 = ladrillo refractario aislante a 2 800°F. FB = ladrillo de arcilla refractaria

Fuente: Ref. (12) pp.6.179.

gética.

### 2.1.2. Aislamiento Térmico en paredes y ductos

La selección adecuada de un aislamiento tiene que ver, principalmente con el uso que se le quiera dar.

Para este fin un conocimiento de los mecanismos del aislamiento térmico es esencial. La figura N° 4, muestra un esquema del flujo de calor a través de la masa del aislamiento.

Esto nos permite considerar que las pérdidas de calor a través de superficies o tuberías se deben principalmente a pérdidas de calor por radiación, conducción y convección.

En las tablas VIII, IX, se muestran las pérdidas de calor en tubería sin aislar y aisladas con un espesor óptimo de aislamiento para luego cuantificar el ahorro energético que se produce. La

$t_1$  (alta temperatura)

$(t_2$  (baja temperatura)

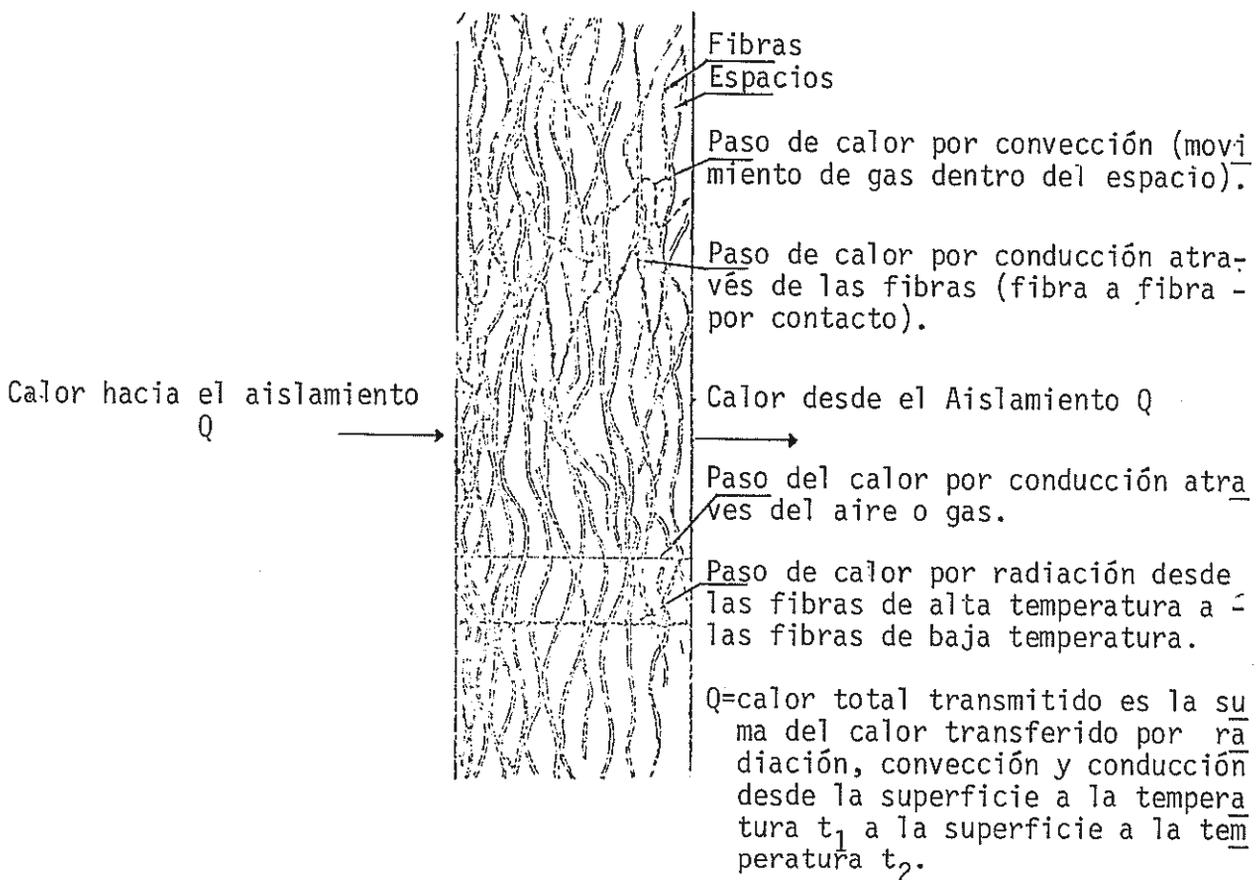


FIGURA N° 4: ESQUEMA DE FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA MASA DEL AISLAMIENTO.

Fuente: Mallo y J., Thermal Insulation (Van Nostrans Reinhold Company), New York, 1969 pp.129. (Ref.11).

TABLA VIII

PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS SIN AISLAMIENTO (TEMPERATURA AMBIENTE  
70°F / 21°C)

DIAM. TUB. PULG.	PERDIDAS DE CALOR BTU/pie,hr											
	Temperatura de Operación °F											
	212	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	
1/2	82	185	287	445	649	901	1213	1602	2075	2644	3317	
3/4	101	205	353	547	801	1113	1508	1964	2575	3282	4122	
1	123	250	434	674	989	1379	1865	2460	3161	4030	5173	
1 1/4	153	312	541	843	1257	1728	2242	2891	3610	4531	5659	
1 1/2	173	352	613	955	1403	1960	2641	3354	4188	5131	6285	
2	213	431	753	1176	1732	2423	3195	4055	5005	6032	7145	
2 1/2	252	516	899	1406	2077	2907	3836	4855	5917	7032	8205	
3	303	620	1083	1685	2505	3511	4784	6317	8040	10052	12348	
3 1/2	343	700	1226	1922	2841	3987	5394	7071	9045	11313	13909	
4	383	784	1370	2149	3179	4467	6094	8071	10545	13513	17019	
5	420	861	1513	2377	3513	4909	6742	8940	11746	14982	18882	
6	541	1122	1976	3195	4604	6470	8858	11744	15360	19740	24961	
8	697	1426	2540	3963	5927	8356	11433	15211	19795	24568	32203	
10	853	1760	3114	4918	7312	10325	14147	18812	24621	31673	40051	
12	1020	2079	3664	5809	8627	12194	16721	22248	29133	37501	47429	
14	1185	2268	3935	6316	9474	13301	18236	24279	31844	40665	51656	
16	1240	2560	4529	7160	10697	15124	20769	27863	36297	46889	59189	
18	1351	2875	5074	8032	12010	16992	23348	31109	40788	52520	66406	
20	1500	3188	5618	8897	13270	18777	25810	34432	45157	58159	73691	
24	1820	3772	6676	10585	15825	22375	30836	41112	53958	69536	88241	
30	2215	4642	8242	13105	19606	27768	38293	51107	67123	86368	108972	
36	2660	5570	9680	15720	23530	33300	45960	61900	80500	104000	131800	

Para convertir los BTU/pie,hr a KJ/m,hr multiplicar por 3.5  
FUENTE: Malloy, J.F., "Thermal Insulation" (Van, Nostrand Rheinhold,  
New York, 1.969)p.p.93.

TABLA IX  
 PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS AISLADAS CON ESPESOR OPTIMO DE AISLAMIENTO

DIAM. TUB. PULG.	PERDIDAS DE CALOR BTU/ pie, hr.										
	Temperatura de Operación °F.										
	212	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
1/2	17	29	46	65	70	88	103	116	137	161	185
3/4	20	35	55	77	81	102	126	132	156	182	180
1	22	37	57	66	87	111	118	148	169	197	204
1 1/4	25	47	74	75	98	113	140	170	201	235	239
1 1/2	27	48	60	84	89	113	140	150	178	207	239
2	31	55	68	95	106	134	165	177	210	245	257
2 1/2	36	63	70	100	112	143	166	188	233	259	274
3	43	75	89	126	133	176	189	228	270	283	326
3 1/2	44	57	89	103	142	159	197	237	262	294	328
4	51	60	103	126	166	181	224	237	283	337	367
5	61	82	129	149	196	211	260	276	330	395	401
6	55	96	121	170	224	242	253	317	331	336	445
8	57	97	150	210	277	284	313	373	402	428	494
10	78	139	175	209	241	272	356	404	426	503	538
12	82	130	170	286	276	311	384	419	455	551	567
14	104	146	191	253	271	342	381	459	497	560	613
16	118	164	214	260	302	382	424	511	553	645	685
18	132	182	238	298	335	380	468	512	607	653	752
20	149	200	250	315	366	415	510	560	662	710	818
24	172	237	307	370	429	485	541	682	769	827	852
30	169	242	322	395	468	532	655	724	793	924	990
36	179	291	337	478	562	639	720	803	883	1004	1107

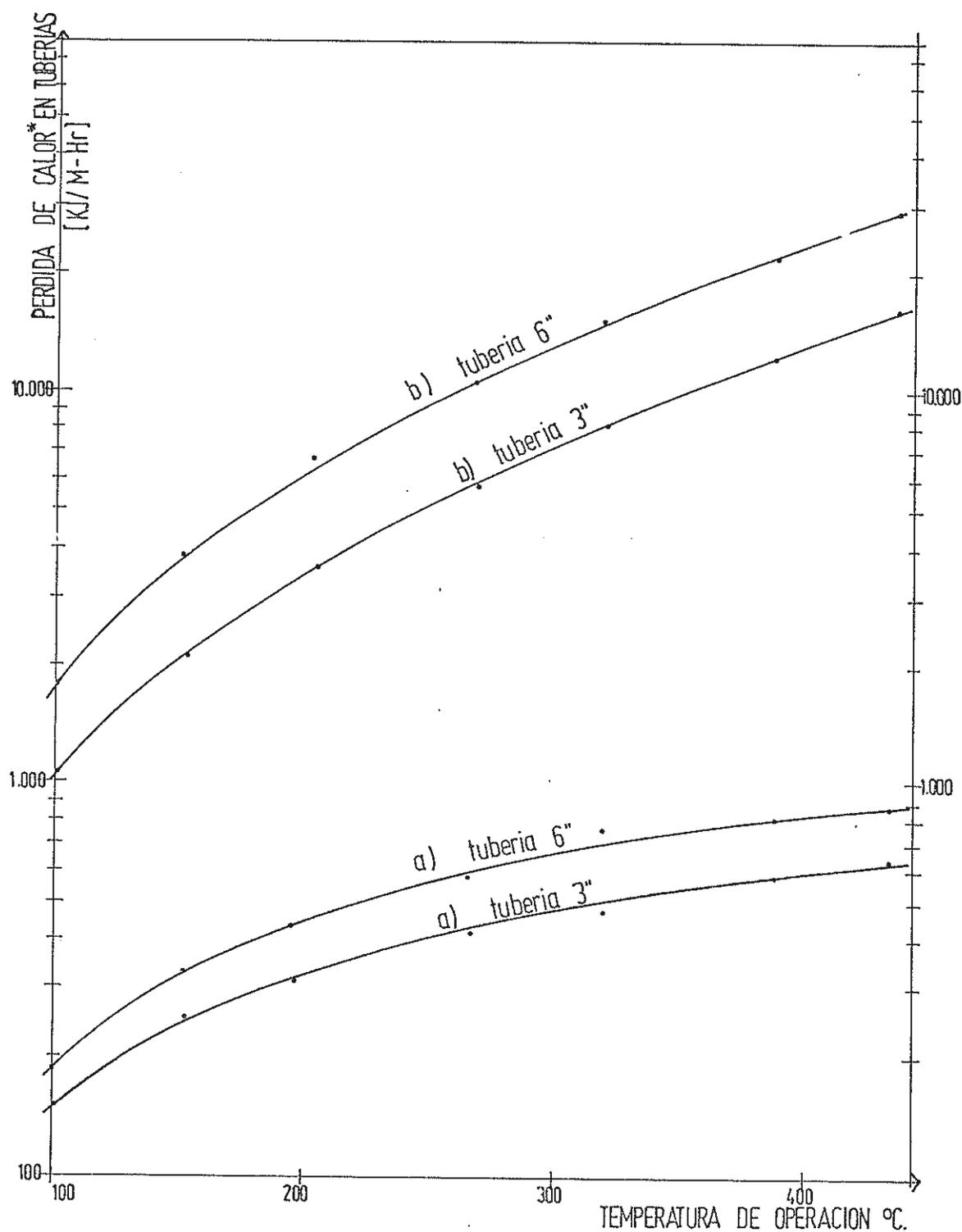
Para convertir BTU/pie,hr a KJ/m-hr. Multiplicar por 3.5.  
 Fuente: Malloy, J.F., "Thermal Insulation" (Van Nostrand Rheinhold, New, York, 1.969)pp.96.

figura Nº 5, muestra graficamente esta situación en ella se aprecia la diferencia obtenida por la colocación del aislamiento. En este sentido se puede llegar a un compromiso técnico económico para ver cual es la cantidad de calor que conviene recuperar y cual se puede perder.

Los beneficios obtenidos del incremento del aislamiento térmico, no son solamente la reducción en el consumo de energía sino también evitar la corrosión de equipos por que se disminuye la condensación.

El calor rechazado representa el potencial de energía recuperable a través de mejoras en el uso del aislamiento térmico. Un análisis en este sentido revela que cerca del 47 o/o del calor rechazado está disponible a temperaturas menores que  $100^{\circ}\text{C}$  : (1).

Un análisis estimativo del potencial -



\* Por radiación, convección y conducción.

Fig.5 Perdidas de calor en tuberías: a) Con espesor óptimo de aislamiento.  
b) Sin aislamiento

FUENTE. Datos tomados de Thermal Insulation (John Malloy). Ref. 11

de ahorro de energía realizado por la Administración Federal de energía de los Estados Unidos demuestra que las oportunidades de conservación energética industrial a través del uso económico del aislamiento para 1.990 es de 3.5 billones de barriles de petróleo o 250 millones de barriles por año (1 ).

Con estas perspectivas de ahorro energético es conveniente analizar para el caso de paredes y ductos a temperaturas intermedias ( $100^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C}$ ) cuáles son los materiales aislantes adecuados y cual es la mejor forma de encontrar el espesor óptimo de aislamiento.

Los tipos de aislamiento disponibles, para el rango de temperatura mencionado, tenemos:

Inorgánicos :

- Silicatos de calcio

- Reflectivos
- Fibra de vidrio
- Ladrillos refractarios
- Perlita
- Lana mineral

El espesor de aislamiento óptimo y económico puede calcularse a través del método del costo mínimo total\* y método del costo marginal.

El método del mínimo costo total involucra cálculos de las pérdidas de energía y costo de los aislamientos para cada espesor. El espesor que produzca los menores costos totales es la solución óptima económica.

El método del costo marginal implica una solución para el espesor de menor costo. Usando este método, el espesor óptimo está determinado a ser el punto en el cual el último dinero invertido en aislamiento resulta exactamente igual al ahorro en el costo de la energía.

\*Un análisis del cálculo del espesor óptimo - por este método desarrolla L.B. McMillan, publicado por J.F. Malloy "Thermal Insulation" (Ref.11).

Es evidente que la colocación de aislamiento como una medida para ahorrar energía también produce ahorros de dinero hasta una proporción que es esencial para la eficiente operación de la planta.

Mientras más aislamiento es usado más calor es ahorrado, pero hay que buscar un equilibrio entre cantidad de aislamiento usado y el ahorro producido.

El espesor económico es aquel que da la solución de costos más efectiva para el aislamiento y está determinado cuando los costos entre el aislamiento y las pérdidas de calor son mínimos.

### 2.1.3. Capacidad Térmica

Para adquirir un equipo de generación de vapor es muy importante cuantificar los requerimientos energéticos a los cuales va a trabajar ya sea que se lo use para generación de energía eléctrica o para uso en los procesos, pues las

condiciones futuras de trabajo determinan su uso eficiente.

Esto es importante, pues las pérdidas más significativas cuando un equipo (caldera) trabaja a una capacidad menor que la máxima, son las pérdidas por radiación. Ver figura N° 6.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el cambio de regímenes en los procesos, ya que estos implican variaciones en la capacidad de operación de los calderos y consecuentemente consumo de combustible adicional para llevar al sistema a las nuevas condiciones estables de operación.

Cuando en un proceso industrial se dispone de varios equipos de generación de vapor es importante conocer la eficiencia con que trabajan para que el momento de decidir que equipo entrará en operación se escoga siempre al más eficiente para que trabaje a su capacidad máxima y al menos eficiente para que se mantenga en reserva o entre a funcionar el menor tiempo posible.

## 2.2. RECUPERACION DE CALOR

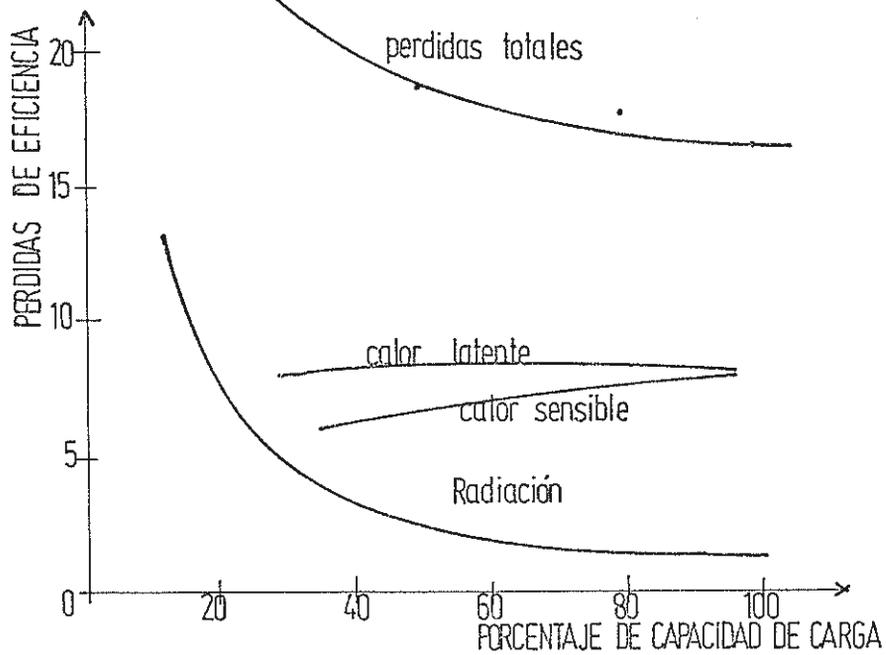


Fig. 6 Variación en las pérdidas de eficiencia en calderas con cambios en el uso de la capacidad de carga del caldero.

FUENTE: K.V.B, Inc., Industrial Boiler User's Manual, pag. 38, publicado por Chiogioji M. "Industrial energy conservation"

Existen tres razones básicas para que se considere la recuperación de calor como un factor de aprovechamiento de energía, que son:

1. Económicas:

Costo de la energía, la recuperación puede reducir considerablemente los costos.

2. Disponibilidad calórica:

Existe calor disponible en plantas industriales en forma de calor desperdiciado, el mismo que puede clasificarse de acuerdo a rangos de temperaturas en:

- Altas (arriba de 1200°F/650°C)
- Medias (entre 450°F - 1200°F) (250°C - 650°C)
- Bajas (menores a 450°F/230°C)

La Tabla .X contiene ejemplos de fuentes de calor residual a altas, medias y bajas temperaturas.

3. Conservación de las fuentes naturales:

Preservar nuestros recursos naturales de energía para prolongar un poco más la época de racionalización energética.

TABLA X  
FUENTES DE CALOR RESIDUAL

TEMPERATURAS ALTAS (ARRIBA DE 1200°F/650°C)

Hornos de refinación de Niquel	2500 - 3000°F
Hornos de refinación de Aluminio	1200 - 1400°F
Hornos de Moldeo de Vidrio	1800 - 2800°F
Plantas de Hidrógeno	1200 - 1800°F
Incineradores de sólidos	1200 - 1800°F

TEMPERATURAS MEDIAS

Gases de escape de calderas	460 - 900°F
Gases de escape de turbinas a gas	700 - 1000°F
Escape en máquinas reciprocantes	600 - 1100°F
Hornos de tratamiento de calor	800 - 1200°F
Hornos de secado y cocimiento	450 - 1100°F

TEMPERATURAS BAJAS

Proceso de condensación del vapor	130 - 190°F
Agua de enfriamiento desde:	
- Hornos	90 - 130 °F
- Cojinetes	90 - 190 °F
- Máquinas de Inyección	90 - 190°F
- Compresores de aire	80 - 120°F
- Bombas	80 - 190°F

---

Fuente: Rohrer and Kreider, "Sources and uses of Wasteheat" p.6. publicado por Chigiogji M. "Industrial Energy Conservation".

### 2.2.1. Energía contenida en los Gases de Escape

Los gases de escape de hornos, secadores calderos, proveen la mayor fuente de desperdicio de calor con disponibilidad calórica media como se observa en la tabla X.

La utilización de este calor residual - puede ser usado para precalentamiento de aire para:

- Calderas (usando precalentadores de aire)
- Hornos (usando recuperadores)
- Turbinas (usando regeneradores)

Pero las consideraciones esenciales necesarias para usar este calor residual contenido en gases de escape son:

- Temperatura (calidad) del calor desperdiciado.
- Razón de flujo
- Composición química y contaminantes
- Requerimientos de temperatura para el nuevo uso.

La energía contenida en los gases de escape puede ser entonces aprovechada, pero también puede ser disminuída al máximo para evitar consumos innecesarios de combustibles.

La eficiencia de un caldero se incrementa aproximadamente en un 2.5 o/o al disminuir la temperatura de los gases de escape unos 100°F. Obviamente que para lograr esta disminución de temperatura de los gases de combustión se deberá eliminar el origen de la elevación inicial, sea ésta por incrustaciones, mala combustión, etc. La figura 7 puede usarse para estimar las mejoras en la eficiencia por la reducción de la temperatura de los gases de escape.

#### 2.2.2. Energía en el agua de enfriamiento

La disponibilidad calórica del agua de enfriamiento en general puede considerarse

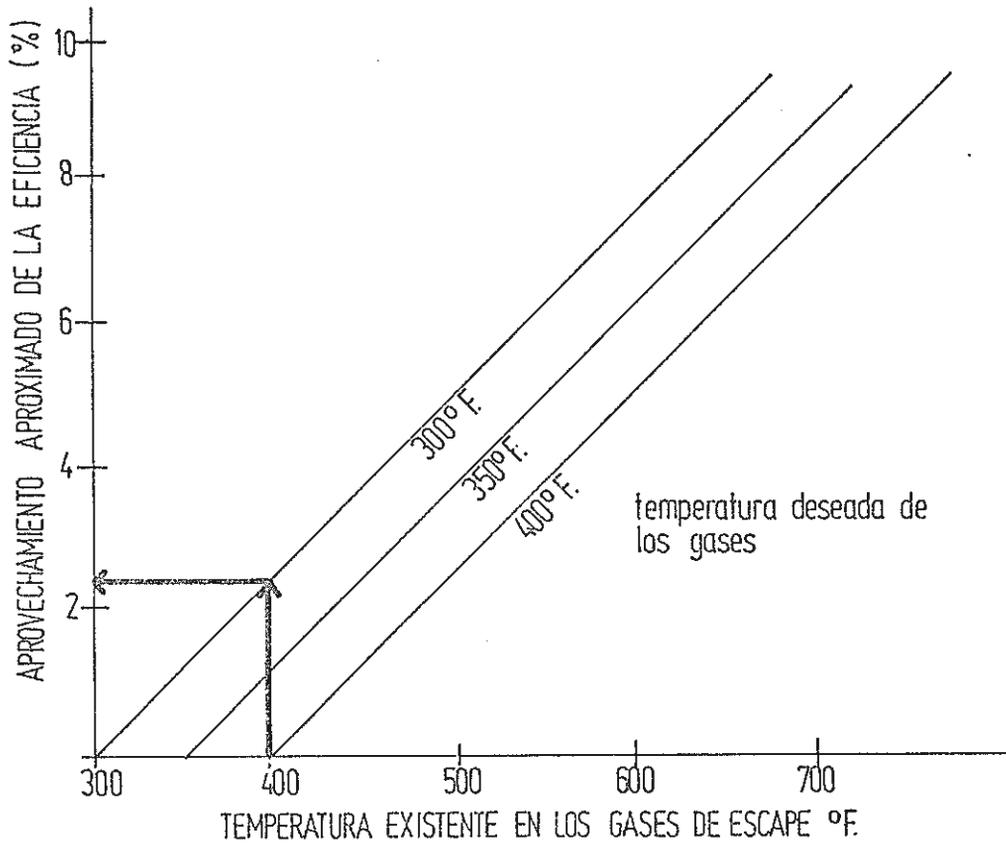


Fig. 7 Aprovechamiento aproximado de la eficiencia por la disminución de la temperatura de los gases de escape.

FUENTE: KVB, Inc., "Industrial Boiler User's Manual Vol. I, p.36, publicado por: Chiogioji M. "Industrial energy conservation"

en el rango de temperaturas bajas, Ta  
bla X. Esta energía puede ser usada  
para precalentamiento de líquidos y/o só  
lidos en procesos industriales, usando -  
tubos aleateados e intercambiadores de  
calor.

### 2.2.3. Recuperación de Condensado

Un condensado limpio es deseable para  
agua de alimentación de calderas debi  
do a que contiene calor y es prácti-  
camente libre de minerales disueltos .  
Ver figura Nº 8.

Es importante que las fugas de con  
densado sean reparadas, las bombas re  
ceptoras del condensado deben ser mante-  
nidas en buen estado de tal manera -  
que el condensado sea siempre bombeado  
al caldero y no permitir que se pier  
da. En casos donde el condensado es  
desperdiciado debería evaluarse para de  
terminar si un tanque, equipos de bom  
ba y tubería se justifican.

La cantidad de combustible usado para

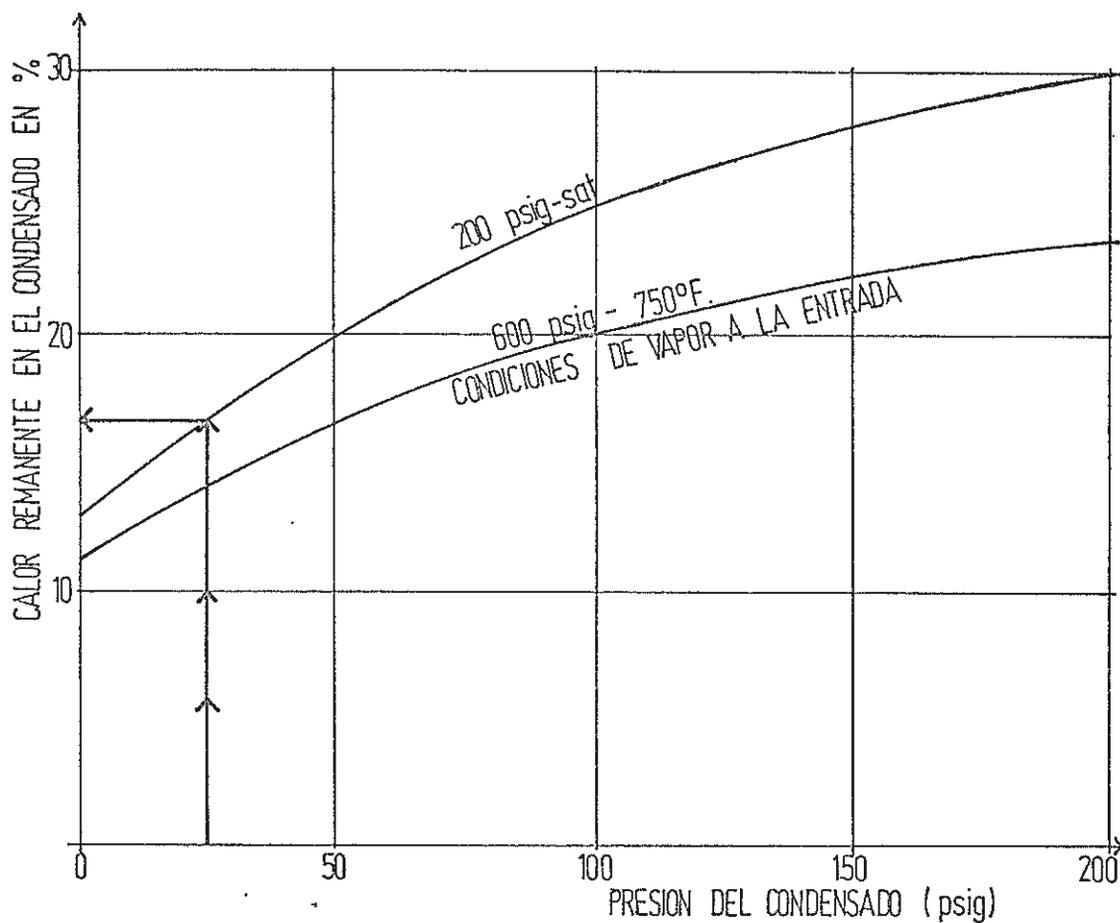


Fig.8 Calor remanente en el condensado (calculado desde las tablas de vapor)

FUENTE: Gatts, R., Massey, R., Robertson, J., "Energy conservation program guide for Industry and commerce pp 3.22. Ref. (5)

la generación de vapor puede reducirse de un 10 o/o al 30 o/o a través del retorno del condensado al caldero para usarse como agua de alimentación. (1).

Este ahorro es sólo un ahorro potencial de calor, porque ninguna pérdida de calor ha sido considerada en el retorno de condensado al caldero.

Las pérdidas de calor dependen de la longitud de la línea de retorno y del aislamiento que tengan.

Además de los ahorros de energía, el retorno de condensado al caldero puede lograr lo siguiente:

- Reducción del consumo de agua en la planta.
- Reducir requerimientos de químicos para el tratamiento del agua de alimentación al caldero.

- Reducción de energía.
  
- Reducción de la contaminación del agua.

Otra técnica de ahorro energético es el uso del condensado de sistemas de alta presión a sistemas de más baja presión (flash - steam) con el fin de producir cantidades significativas de vapor. Ver figura Nº 9.

Esta técnica se justifica cuando en el proceso existen requerimientos de vapor de baja presión.

El porcentaje de vapor que se obtiene con el uso de la revaporización depende de:

- presión del condensado; y,
  
- presión del revaporizado.

Así por ejemplo un condensado a -

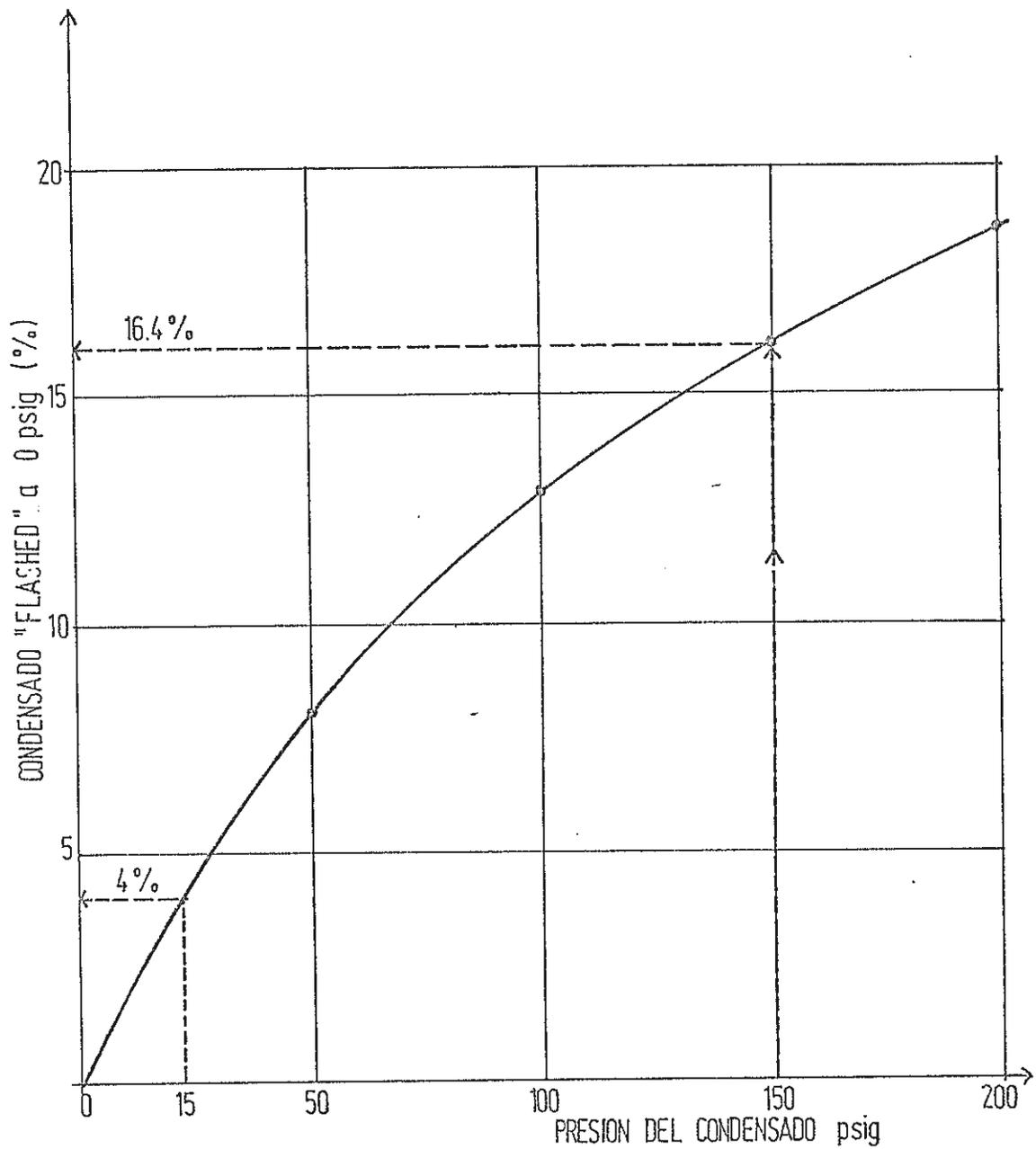


Fig. 9 Uso del condensado "Flash-steam" (calculado de las tablas de vapor)

FUENTE: Department of commerce energy conservation guide for Industry and commerce NBS Handbook 115, 1974 pp. 3.23. Ref.(5)

150 psig se revaporiza para usarse como vapor a 15 psig.

La cantidad neta de vapor aprovechable será:

Revaporizado desde 150 psig	
a 0 psig-----	16.4 o/o
Revaporizado desde 15 psig	
a 0 psig.-----	<u>-4.0 o/o</u>
	12.4 o/o

El 12.4 o/o de la cantidad (lb/hora) de condensado producido será la utilizada como vapor a baja presión (revaporizado).

En adición al ahorro de calor, la revaporización del condensado permitirá:

- Reducir los requerimientos para el tratamiento del agua de alimentación al caldero.
- Reducir los requerimientos para la energía y químicos usados en el agua.
- Reducir el costo debido a pérdida por fugas en las trampas de vapor, como un resultado de eliminar una larga línea de vapor.
- Reducir la cantidad en la capacidad

requerida en el caldero de la planta.

### 2.3. FACTORES DETRIMENTALES

Muchos son los factores que obstaculizan el uso eficiente de la energía en los procesos industriales, como se ha visto anteriormente, pero existen otros factores que además de las pérdidas térmicas originan daño en los equipos de generación de vapor e inclusive peligros en la operación de los mismos.

#### 2.3.1. Incrustaciones en tubos de agua

Las más importantes impurezas que contiene el agua son las sales de calcio y magnesio, debido a que dichas sales son poco solubles y tienden a precipitarse sobre las superficies produciendo una capa dura y aislante llamada Incrustación.

En las calderas de tipo acuatubular la circulación del agua por el interior de los tubos se realiza por el principio de termosifón. Por ser los tubos de diámetro reducido es fundamental que

el agua que se utiliza esté libre de las sales antes mencionadas, ya que de no ser así, la presencia de éstas dificultaría la libre circulación y disminuiría la cantidad de calor por conducción que se transmite a través de las paredes de los tubos, puesto que el coeficiente de transmisión del calor por conducción es inversamente proporcional al espesor de la pared a través de la cual se transmite el calor.

$$q_k = -kA \frac{dT}{dr}$$

En la tabla XI se detallan las pérdidas de transferencia de calor en porcentaje debido a las incrustaciones.

TABLA XI  
 PERDIDAS DE CALOR DEBIDO A INCRUSTACIONES

PERDIDAS DE TRANSFERENCIAS POR INCRUSTACIONES		
ESPESOR DE LA INCRUSTACION		PERDIDA DE CALOR
PULGADAS	MM.	PORCENTAJE (%)
0.02	0.51	4
0.03	0.76	7
0.04	1.02	9
0.05	1.27	10
0.06	1.52	13
0.09	2.28	15
0.11	2.79	16

#### FORMACION DE LAS INCRUSTACIONES

Se deben principalmente a la acción de la temperatura sobre las sustancias disueltas en el agua.

Algunas de las incrustaciones más comunes son:

- Carbonato de calcio  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  Sólido
- Hidróxido de magnesio  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -Sólido
- Sulfato de calcio  $\text{SO}_4\text{Ca}$  - Sólido
- Silicato de magnesio y calcio  $\text{Si O}_3\text{Mg}$  -  
 $\text{Si O}_3 \text{Ca}$  (se produce sólo cuando el  
agua contiene cantidades excesivas -  
de ácido sílico  $(\text{Si O}_3\text{H}_2)$ ).

#### PREVENCION DE INCRUSTACIONES

El sistema de prevención de incrustaciones exige el control de algunos parámetros como:

- Concentración de sólidos totales disueltos (STD).
- Alcalinidad.

En un caldero, por ejemplo, es fundamental mantener un control diario de las condiciones del agua de alimentación.

Este control se consigue a través de:

- Determinación de los parámetros del tratamiento (análisis químico).

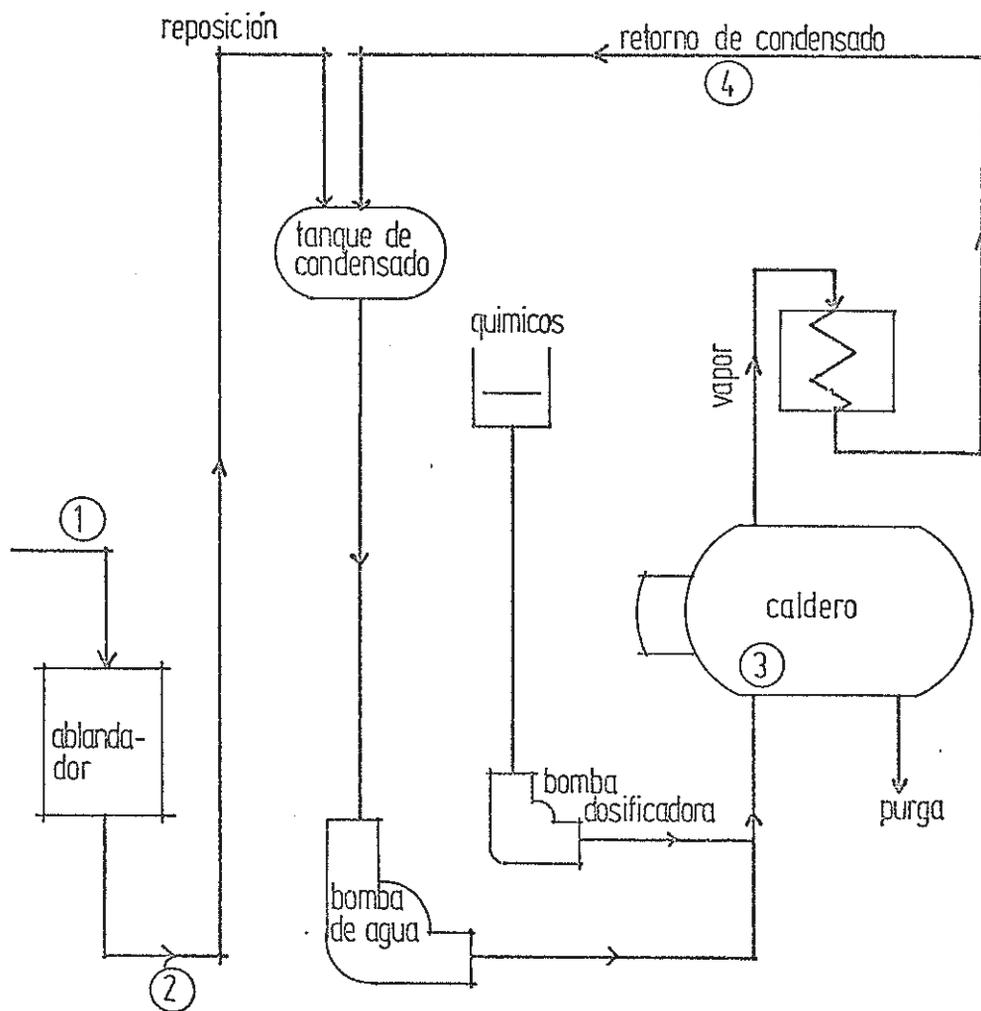
- Ajuste de la dosificación
  - a. Dosificación de componentes químicos
  - b. Alimentación de químicos
  - c. Control de Purga.

En la figura N° 10, se muestra los puntos donde debe realizarse los análisis químicos en un caldero.

#### 2.3.2. Escapes de fluido de trabajo

Sin duda el área donde los ahorros potenciales de energía son más evidentes es en la mejor utilización del vapor. Aproximadamente más del 50 % del consumo de energía en la industria lo constituye la generación de vapor. Reducciones en el uso de la energía puede hacerse - factible incrementando la eficiencia de los calderos industriales o por la reducción de las pérdidas de vapor.

Las mayores pérdidas de vapor ocurren a través de escapes en las trampas de vapor así como también en válvulas, o picaduras en las líneas de distribución



- ① AGUA DE REPOCISIÓN ANTES DEL ABLANDADOR
- ② AGUA DE REPOCISIÓN DESPUÉS DEL ABLANDADOR
- ③ AGUA DEL CALDERO (PURGAS)
- ④ AGUA DE CONDENSADO

Fig.10 Localización de puntos en donde se debe realizar los análisis químicos

de vapor.

Esto nos permite considerar la revisión periódica (mensualmente) de trampas, válvulas y líneas de distribución de vapor, como un factor importante en un programa de mantenimiento tendiente a la conservación energética.

Se ha determinado que con mantenimientos cuidadosos e inspecciones frecuentes las pérdidas de vapor por fugas se pueden reducir en un rango del 1 % - 3 %.(1)

La figura N° 11, muestra las pérdidas de calor anuales producidas por diferentes tamaños de fugas y presiones de operación.

Hay que hacer notar también que escapes de vapor producen también pérdidas de condensado.

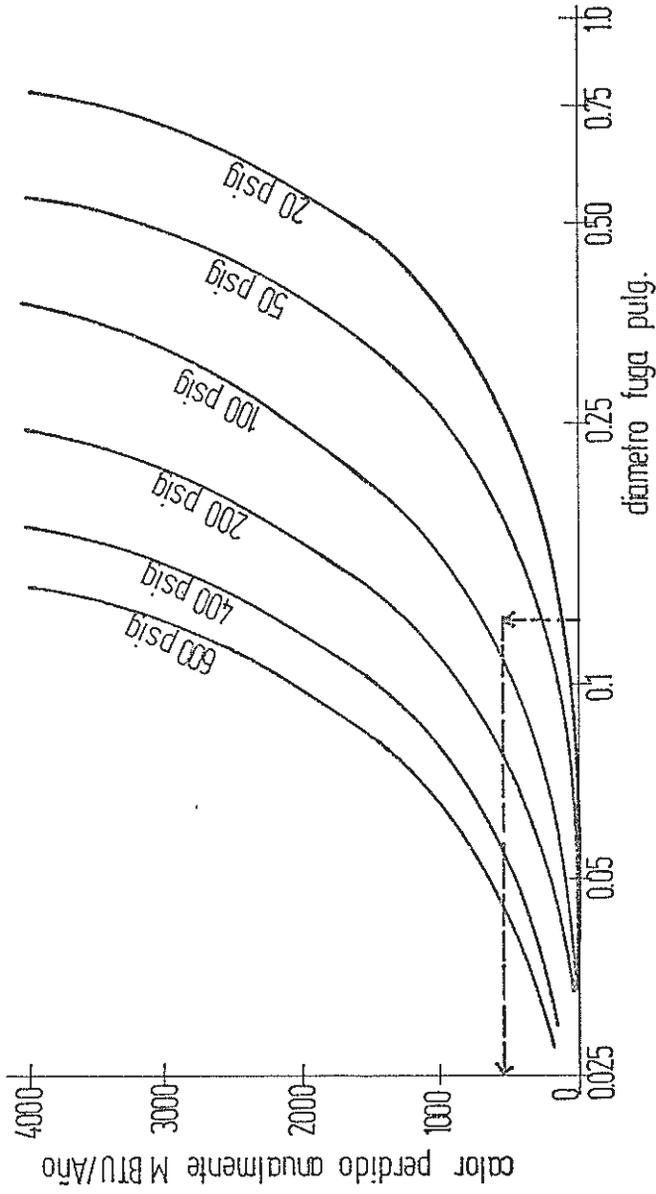


Fig.11 Perdidas de calor por fugas de vapor

FUENTE: Ref. (5)

## CAPITULO . III

### 3. ANALISIS TERMODINAMICO\*

Los principios termodinámicos indican que toda la energía, independiente de su fuente, tiene un costo y la medida de la efectividad con la que el combustible es usado en los procesos industriales requiere consideraciones de otras propiedades que de la energía por sí sola. Los límites de las discusiones de energía han sido ampliados para cubrir la calidad tanto como la cantidad de la energía. De esta forma, las discusiones han sido ampliadas usando el concepto de J.M. Gibbs de "Energía Libre". (1).

Se puede demostrar que un BTU de energía en la forma de 2000°F tiene más cantidad de trabajo útil que un BTU de energía en la forma de agua de enfriamiento a 150°F. Así mismo que el valor de la energía de un BTU de la energía eléctrica en la planta es de más calidad que la

---

\*Este análisis está tomado del Análisis de la disponibilidad Termodinámica publicado en "Industrial Energy Conservation" M. Chiogioji.

de un BTU de carbón.

El asunto es que la calidad tanto como la cantidad deben ser considerados en la evaluación de las fuentes, formas y usos de energía. Las leyes de la Termodinámica indican que la cantidad relevante es una propiedad llamada TRABAJO UTIL DISPONIBLE, el cual está relacionado a la propiedad llamada Entropía. La esencia del asunto es la discriminación adecuada entre energía y disponibilidad termodinámica entre la calidad de una forma de energía y la calidad de la energía ofrecida por esta forma.(1)

### 3.1. TRABAJO APROVECHABLE

El término trabajo aprovechable o trabajo disponible "B" se refiere al "máximo trabajo que puede ser provisto por un sistema en la medida que prosigue a un estado final especificado en equilibrio termodinámico con la atmósfera."(1)

El concepto de trabajo disponible está ilustrado por varios ejemplos dados en la tabla XII.

Una estimación basada en la disponibilidad simultá

TABLA XII

## "EJEMPLOS DE TRABAJO APROVECHABLE"

NOTA:  $T_1(\text{caliente}) > T_2(\text{tibio}) > T_0(\text{ambiente}) > T_3(\text{frio})$

	TRABAJO $W_{IN}$	COMBUSTIBLE CON CALOR DE COMBUSTION H.	CALOR $Q_1$ DESDE RESER- VORIO CALIENTE A $T_1$
FUENTE	(Ejem. Potencia del agua, del viento, elevación de pesos) o electricidad. $B = W_{IN}$	(Ejm. Carbón, aceite, gas) $B =  \Delta H *$	(Ejem. Fuente geotérmica, colector solar). también reactores de fisión y plantas de combustibles fósiles. $B = Q_1(1 - \frac{T_0}{T_1})$
	TRABAJO $W_{out}$	CALOR $Q_2$ AÑADIDO AL RESERVORIO A $T_2$	CALOR $Q_3$ EXTRAIDO DES- DE EL RESERVORIO A $T_3$
FINAL	Ejem. Ejes, fluido de bombas, vehículos de propulsión). $B_{min} = W_{out}$	(Ejem. Calefacción cocinado, hornado, secado). $B_{min} = Q_2(1 - (\frac{T_0}{T_2}))$	(Ejem. Refrigeración y aire acondicionado). $B_{min} = Q_3(\frac{T_0}{T_3} - 1)$
USO			

\* Una consideración exacta se requiere para cada combustible

Tomado de Water Carnahan, et.al., Efficient use of energy: A Physics perspective, (Princeton, New Jersey. The American Physical, January, 1975)p.25. Publicado por M.Chioioji.- Industrial Energy Conservation".

neamente hace referencia tanto para la cantidad como la calidad de energía que está pasando a través del sistema. Convenientemente hecha esta evaluación nos dirá que cantidad de trabajo es perdido en un proceso dado, cuanto del trabajo perdido es desperdiciado y donde es desperdiciado.

### 3.1.1. Imposiciones de la Primera Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica es simplemente la ley de la conservación de la energía: la energía no puede ser creada ni destruida. En términos simbólicos :

$$Q - W = E_i - E_o$$

Donde:

Q es la cantidad neta de calor que fluye en el sistema durante el proceso .

W es el trabajo neto hecho por el sistema durante el proceso.

$E_i$  es la energía interna del sistema al inicio del proceso.

$E_o$  es la energía interna del sistema al final del proceso.

Esto significa que la energía neta de un sistema en un periodo dado es igual a la energía contenida en el material al abandonar el sistema más el calor añadido al sistema.

El análisis convencional termodinámico del uso de la energía comunmente consiste de calor de conducción y balances de trabajo alrededor del proceso y está basado en la Primera Ley de la Termodinámica. Para determinar la eficiencia del uso de la energía en términos de la primera ley, tenemos:

$$\eta = E_o/E_i$$

$\eta$  = es la eficiencia energética

$E_o$  es la transferencia de energía alcanzada por el sistema.

$E_i$  es la energía que entra al sistema.

Cuando el máximo valor teórico de esta razón es mayor que uno, es usualmente llamado (Coeficiente de Rendimiento). Cuando el máximo valor teórico es menor o igual a uno es llamado Eficiencia.

A pesar de sus bondades la primera ley de la Termodinámica tiene algunos inconvenientes. Primero: su máximo valor depende del sistema y de las temperaturas y puede ser mayor que, menor que, o igual a uno.

Segundo: no enfatiza en forma adecuada el rol central de la segunda ley en el Gobierno de la eficiencia posible del uso de la energía. Finalmente, no puede fácilmente ser generalizada a sistemas complejos - en los cuales la salida deseada es algún tipo de combinación de TRABAJO y CALOR.

La primera Ley de la Termodinámica, sin em

bargo, nos permite buenas perspectivas en el proceso de la eficiencia, en que podemos comparar la energía total dejando un proceso como producto útil al total de la energía entrando al proceso.

### 3.1.2. Imposiciones de la Segunda Ley de la Termodinámica

El uso de la Primera Ley de la Termodinámica no es adecuada para la consideración de la tarea de la mínima energía. Sabemos que la energía no se pierde y que, en cualquier proceso que involucre calor las restricciones de la Segunda Ley de la Termodinámica usualmente aseguran que no toda la energía puede ser disponible en forma útil. La Segunda Ley nos permite definir una cantidad, trabajo disponible, que tiene la dimensión de energía que es el consumo real en un proceso. Hay un límite superior a la cantidad de trabajo que puede ser consumido a una temperatura  $T_1$  con una temperatura ambiental de  $T_0$ . Este límite superior es el trabajo disponible o el máximo trabajo, que puede ser provisto por el siste

ma. El trabajo es la forma de energía de más alta calidad (la más baja entropía); y, por lo tanto, el más valioso.

De esta manera, una medida más significativa de la eficiencia de un proceso es derivada de la segunda ley de la Termodinámica. El parámetro de eficiencia de la Segunda Ley compara la can ti dad disponible proveniente de una cantidad da da de energía a la cantidad de trabajo necesita do para operar el proceso.

En términos del concepto de trabajo disponible, la definición de la eficiencia de la Segunda Ley puede ser establecida como:

$$\epsilon = B_{\text{min}}/B_{\text{real}}$$

Esto establece que eficiencia es igual a la re l aci ón del menor trabajo disponible que se hu bi era hecho al trabajo disponible real usado para operar el proceso.

### 3.2. EFICIENCIA EN LOS PROCESOS

Una medida absoluta de la eficiencia de un proce

so dado, puede definirse por el concepto de "trabajo perdido". Trabajo perdido es la diferencia entre el trabajo disponible dentro de un proceso y el trabajo disponible saliendo del proceso. El trabajo perdido anualmente en un proceso dado es una medida absoluta del consumo anual de energía usada para este proceso; esto puede representar una buena base para el establecimiento de las prioridades de la Conservación de Energía.

El beneficio primario del concepto de "trabajo perdido" es que es una medida precisa y fácilmente aplicable de la carga total impuesta por cualquier unidad de proceso dado sobre las fuentes disponibles de energía. Esta medida es universalmente aplicable para todas las unidades de proceso, sin importar el tipo o el sector industrial en donde se encuentre. La medida de efectividad de un proceso industrial, será el incremento del trabajo útil disponible entre las materias primas que entran al proceso y los productos terminados saliendo del proceso, dividido para el trabajo útil disponible del combustible usado. Un análisis detallado de las pérdidas y de los requerimientos del proceso revelaría áreas potenciales

de aprovechamiento energético, lo cual no podría ser detectado por otros métodos.

### 3.3. POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO EN LOS PROCESOS TERMICOS

Una manera efectiva de evaluar el potencial de aprovechamiento energético en los procesos es comparar los consumos específicos de energía\* con valores referenciales.

La comparación que se haga, está íntimamente relacionada con el avance tecnológico existente en los cuales se tomen los datos referenciales.

En la Tabla XIII se muestra una comparación de consumos específicos de energía para algunas industrias en los Estados Unidos, en la cual se encuentran los porcentajes de ahorro que se obtendría si se usaran tecnologías más avanzadas que las existentes en el año de estudio.

Pero el potencial teórico de ahorro con consideraciones mínimas teóricas sobre disponibilidad -

---

\*Consumo específico de energía (CEE) de un proceso/equipo no es otra cosa que la razón entre la cantidad de energía empleada en el proceso durante un período dado y la cantidad de producto final obtenido en el mismo período.

TABLA XIII  
 CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA PARA ALGUNAS INDUSTRIAS  
 EN U.S.A.

INDUSTRIA	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE $10^{-3}$ TEP/TON		MEJORAS EN EL CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUS- TIBLE EN PORCENTAJE
	USANDO TECNO- LOGIA 1968	TECNOLOGIA EXISTENTE 1973	
Hierro y Acero	668	434	35 o/o
Refinación de Petróleo	111	83	25 o/o
Papel y cartón	983	601	39 o/o
Aluminio (Pri- mario y desper- dicios)	3906	2677	32 o/o
Cobre	650	456	30 o/o
Cemento	199	113	43 o/o

FUENTE: Potencial Fuel Effectiveness in Industry, Copyright, 1974.  
 Publicado por M. Chiogioji, "Industrial Energy Conserva-  
 tion".

termodinámica (primera y segunda ley), es mayor aún, Tabla XIV.

Esta gran variación que existe entre prácticas comunes y límites teóricos mínimo, indican el potencial que está disponible para reducir el consumo de combustible a través de modificaciones básicas en los procesos.

En la práctica este nivel teórico mínimo no puede ser obtenible, porque en los procesos hay pérdidas de calor que no pueden ser recuperadas por la irreversibilidad de los procesos.

Hay además consideraciones de tipo económico; es decir las pérdidas térmicas se pueden disminuir hasta un valor en donde la inversión justifique el ahorro.

Esto nos permite llegar a la conclusión que mejoras en el uso de la energía por unidad de producción, del orden, del 25 - 35 o/o son posibles.

TABLA XIV

COMPARACION DE CONSUMOS ESPECIFICOS DE PROCESOS CONOCIDOS CON  
CONSUMOS ESPECIFICOS MINIMOS TEORICOS PARA ALGUNAS INDUSTRIAS  
EN U.S.A.

INDUSTRIA	CONSUMO ESPECIFICO DE $10^{-3}$ TEP/TON		COMBUSTIBLE MIN:TEORICO ANAL. DISPON.TERMODIN.
	USANDO TECNOLOGIAS 1968	TECNOLOGIAS EXISTENTE 1.973	
Hierro y Acero	668	434	151
Refinación de Petróleo	111	83	10
Papel y cartón*	983*	601*	3 ***
Producción Primaria de aluminio**	4788	3830	635
Cemento	199	113	20

\* Incluye  $366 \times 10^{-3}$  TEP/TON de papel producido desde desperdicios consumidos como combustible por la industria de papel.

\*\* No incluye el efecto de Reciclado de desperdicio.

\*\*\* No incluye  $366 \times 10^{-3}$  TEP/TON de papel producido desde desperdicios consumidos como combustible por la industria de papel.

FUENTE: Potencial Fuel Effectiveness in Industry. Copyright, 1974.  
Publicado por Chiogioji "Industrial Energy Conservation"

## CAPITULO IV

### 4. PROCESOS INDUSTRIALES

Los procesos industriales son muy diversos e involucran la interacción de los requerimientos de cada tipo de industria con las características de cada tipo de com bustible.

Así tenemos que en el Ecuador, esto se manifiesta como se muestra en la tabla XV, en la que se cuantifica - el uso de la energía por tipo de combustible y por tipo de industria.

La industria del cemento (minerales no) por ejemplo el uso de energía se basa casi exclusivamente en el uso de derivados del petróleo mientras que en la industria azu carera (agro-industrias) su mayor consumo energético radi ca en el bagazo.

Por otro lado, en orden de consumo de energía tenemos que la industria azucarera consume, casi el 50o/o del con

TABLA N° XV

USO DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA \*

1.978

INDUSTRIA	DERIVADOS DEL PETROLEO <sup>a</sup>		ELECTRICIDAD <sup>b</sup>		BAGAZO	T O T A L	
	10 <sup>3</sup> TEP	o/o	10 <sup>3</sup> TEP	o/o		10 <sup>3</sup> TEP o/o	10 <sup>3</sup> TEP
Agro-Industrias							
Basicamente azucar	78.6	30.7	19.3	7.5	158.1	61.8	256.0 46.5
Textil, madera, cuero y papel	70.8	83.7	13.8	16.3	-	-	84.6 15.4
Quimica	13.1	70.8	5.4	29.2	-	-	18.5 3.4
Minerales no metálicos (Basicamente cemento)	159.7	93.9	10.3	6.1	-	-	170.0 30.9
Otros	17.3	80.5	4.2	19.5	-	-	21.5 3.8
T O T A L:	339.5	61.7	53	9.6	158.1	28.7	550.6 100 o/o

Fuente: Referencia 12

\*No se considera la leña, como combustible Bagazo = 0,15 TEP/TON  
Residuo = 0.153 TEP/BL.  
Electricidad = 0.086 TEP/MWA

a. Incluye el combustible usado en la transportación  
b. Incluye la electricidad autogenerada

sumo total industrial le sigue la del cemento, con la variante de que en la primera el 61.8 o/o de la energía que usa proviene del bagazo (energía no comercial) y la segunda el 93.9 o/o de la energía que usa proviene del petróleo, como ya se explicó anteriormente.

Este tipo de análisis es importante si se quiere elaborar un programa nacional de conservación energética.

#### 4.1. CLASIFICACION

La Cámara de Industrias del Ecuador y la Dirección Nacional del Desarrollo Industrial, clasifican a las industrias usando la clasificación internacional uniforme de Industrias (C.I.U.I.), Ver tabla XVI

Una clasificación menos formal, pero que permite analizar en orden de consumo de energía a las industrias se da en la tabla XVII.

#### 4.2. ANALISIS DEL USO ENERGETICO EN LOS DIFERENTES PROCESOS

El consumo energético del sector industrial, en los países industrializados, representa aproximadamente el 50 o/o del consumo total de energía. En el Ecuador este sector económico utiliza entre el 15-17 o/o del

TABLA Nº XVI  
 CLASIFICACION INTERNACIONAL UNIFORME DE INDUSTRIAS (CIUI)

CODIGO Nº	I N D U S T R I A
3111	Preparación, conservación y enlatados de carnes
31119	Avícola
3112	Productos Lácteos
3113	Frutas y vegetales
3118	Azúcar
3116	Harinas y productos molidos
3117	Pan y Productos de Repostería
3121	Productos Alimenticios Varios
3122	Alimentos balanceados
3131	Destilación, mezcla y embotellamiento de bebidas alcohólicas
3133	Cerveza y Malta
3134	Bebidas Gaseosas
3140	Tabacalera
3211	Téxtiles - Algodón
3214	Tapetes y alfombras
3215	Sogas y cuerdas
3220	Confecciones de Textil
32321	Tenería, Preparación y teñido del cuero
3240	Calzado

Contin...

Viene...TABLA XVI

CODIGO	INDUSTRIA
3310	Parquet - Mosaicos
3311	Madera o Industrias relacionadas
3320	Muebles de Madera
3411	Pulpa y papel
3420	Impresos u otras Industrias relacionadas
32295	Tintas y Resinas para impresión
3511	Productos Químicos
3521	Pinturas, Lacas y Barnices
35294	Fósforos
352941	Velas
3560-2	Fundas plásticas y tuberías
3360.9	Extrusión de láminas de plástico y plásti co cubiertos.
3564	Tuberías plásticas, juguetes y otros mate riales extruídos
36101	Artículos Sanitarios
36921	Cemento
36991	Producción de Asbesto - cemento
36911	Material de Construcción (Hormigón)
371012	Trifilado de cables
381191	Recipientes metálicos e implementos de coci na.

Contin...

Viene.....TABLA XVI

---

CODIGO Nº	I N D U S T R I A
3813	Productos Estructurales metálicos
38192	Tornillos, tuercas y pernos
3833	Aparatos eléctricos de uso doméstico
3839	Suministros Eléctricos (tuberías)
38430	Ensamblaje de vehículos motorizados respuestos, etc.
39991	Materiales de construcción de arcilla (ladrillos)

---

\*Tomado de Ref. 13 pp(16 - 17).

TABLA XVII

RAMAS INDUSTRIALES DE MAYOR CONSUMO ENERGETICO	CONSUMO DE ENERGIA - 1981		NUMERO DE PLANTAS
	COMERCIAL NO COMERCIAL		
	10 <sup>3</sup> TEP %	10 <sup>3</sup> TEP %	
CEMENTO	180	35	5
AZUCAR	35	7	8
HILADO TEXTIL	56	11	450
ALIMENTOS, BEBI			
DAS	112	22	650
OTROS	127	25	1287
T O T A L :	510	100	2400

Fuente: Ref. : Publicación del Instituto Nacional de la Energía INE, Quito 1.982.-  
 \*Este valor ha sido tomado directamente de la fuente de publicación, existiendo un error en el mismo, siendo el valor correcto 686.

consumo total, ver Tabla XVIII.

Esto se debe fundamentalmente a la baja industrialización existente.

Si se considera de que este panorama tendrá que cambiar, que los precios de la energía seguirán subiendo, se hace indispensable mejorar la eficiencia energética de las industrias.

Un análisis del uso energético en los procesos productivos, en términos del consumo específico de energía permitirá evaluar el estado de eficiencia de las industrias en comparación con industrias similares en otros países.

La tabla XIX muestra el consumo específico de energía de algunas industrias en el Ecuador y la tabla XX compara estos consumos específicos con los consumos específicos de Estados Unidos y de algunos países - en vías de desarrollo.

TABLA XVIII \*

	CONSUMO FINAL DE ENERGIA TOTAL POR SECTORES							
	1979		1980		1981		1982	
	10 <sup>3</sup> TEP	o/o	10 <sup>3</sup> TEP	o/o	10 <sup>3</sup> TEP	o/o	10 <sup>3</sup> TEP	o/o
Residencial, comercial y público	1432	38	1417	35	1458	35	1573	36
Transporte	1324	36	1463	37	1663	39	1705	39
Agropecuario y Pesca	36	1	26	1	40	1	64	2
Industrial	647	17	704	17	686	16	670	15
Otros	297	8	383	10	385	9	370	8
<b>T O T A L :</b>	<b>3736</b>	<b>100</b>	<b>3993</b>	<b>100</b>	<b>4232</b>	<b>100</b>	<b>4382</b>	<b>100</b>

=====  
 \*Incluye Bagazo ; Leña, termoelectricidad e hidroelectricidad, derivados del petróleo.  
 Fuente: Ref.(10).  
 =====

TABLA XIX

## CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA EN ALGUNAS INDUSTRIAS EN EL ECUADOR

INDUSTRIA	C.E.E. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	OBSERVACIONES
Cemento	129	Promedio de algunas industrias proceso de fabricación via-seca.
Ladrillos	63	Usan derivados de petróleo como combustible (kerex)
Textil	1500-2500	El menor se refiere a la fabricación de telas sintéticas y el mayor a fibras naturales y sintéticas.
Papel	767	Producción de cartón y Usa pulpa y residuos de papel como materia prima
Plásticos	17 - 338	El más bajo, fabricación de fundas y el más alto, materiales de construcción.
Aditivos químicos para cuero	229	Operación de mezclado Reacciones a baja temperatura
Madera e industrias relacionadas	13 * 136 - 209	80 o/o de energía residuo de madera . Fabricación de aglomerado.

Fuente: Ref.(13)

\*Este consumo específico de energía sólo se refiere al porcentaje que estas industrias utilizan de derivados del petróleo 20 o/o.

TABLA XX

CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA: CUADRO COMPARATIVO

INDUSTRIA	P R O C E S O	CONSUMO ESPECIFICO DE		ENERGIA 10 <sup>-3</sup> TEP/TON ECUADOR
		PAISES EN VIAS DE DESARROLLO	U.S.A.	
ACERO	ACERO BRUTO	450-1400	434	-
	ACERO ACABADO	300- 400	-	-
ALUMINIO	FUNDIDO	4500-5400	2677	-
PETROLEO	REFINACION	35- 100	83	-
PAPEL	ACABADO	250- 950	601	767
CEMENTO	VIA SECA	80- 160	113	(325-713) *
MAT.DE CONSTRUCCION	LADRILLO	90- 200	51	63
	AZUCAR	0- 850	-	627
TEXTIL	ACABADO	950-2500	905-2780	1500-2500

\*Datos de la Industria de papel analizados

Fuente: Ref. (7) (1) (13)

## CAPITULO V

### 5. ANALISIS ECONOMICO DEL USO INDUSTRIAL DE LA ENERGIA

En términos generales el planteamiento de generar medios que permitan ahorros por el uso más eficiente de la energía, presentan para cualquier industria un punto de vista atractivo; este planteamiento deberá medirse en términos económicos, para lo cual una evaluación energética, a través de una auditoría dará las condiciones de operación actuales de la planta y permitirá la comparación en términos económicos con las alternativas que se sugieran.

Muchas de estas alternativas implican inversiones las cuales desde el punto de vista del industrial las tomará en cuenta como una inversión de la cual espera obtener un beneficio.

Para esto deberá realizarse un Análisis Económico de las propuestas que permitan determinar los beneficios que se puedan obtener a través de estas alternativas.

### 5.1. COSTO DE LA PRODUCCION DE ENERGIA

El valor de la energía en un sistema está directamente relacionado con su uso. Por ejemplo, vapor de alta energía capaz de manejar un turbo - generador tiene un valor económico mayor por BTU que el vapor de baja energía que no puede ser usado para producir electricidad. (4).

Por lo tanto el valor de la producción de energía es función de:

- Costo del combustible o potencia
- Costo de equipos
- Gastos de operación y mantenimiento

El costo del combustible tiene un gran efecto sobre el valor (suces/GJ) de la energía, tablas XXV y XXVI

La eficiencia de transformación afecta inversamente el valor asignado a la energía en un proceso.

De esta forma el cálculo del costo de la producción de energía bruto será:

$$C_B = \frac{P_0}{H_0} \quad (1)$$

$C_B$  = costo bruto

$P_0$  = precio del combustible en sucres/galón o de la potencia en sucres/Kw-H

$H_0$  = poder calorífico del combustible en GJ/galón o equivalencia térmica de la electricidad en GJ/KWH.

El costo de la producción de energía neto será:

$$C_N = \frac{C_B}{E} \quad (2)$$

$C_N$  = costo neto de la producción de energía

$E$  = eficiencia de conversión

Además del costo neto de la producción de energía debe considerarse valores tales como:

- Depreciación de equipos
- Costo de operación y mantenimiento (10 %)
- Incremento anual del precio del combustible

Entonces tenemos que el costo de la producción de energía será:

$$1.1. A \quad C_N + C_K = C_T \quad (3)$$

Donde:

1.1. Considera el 10 o/o de los costos de operación y mantenimiento.

A = Multiplicador que aplica el costo presente con el fin de determinar el costo promedio anual de la energía.

$$\frac{(1 + i)^n - 1}{i \cdot n}$$

Donde:

i = tasa de interés anual

n = número de años

$$C_N = \text{costo neto} \frac{P_0}{H_0 E}$$

$C_K$  = costo de capital anual de energía

$$= \frac{P_f}{Q}$$

Donde:

$P_f$  = capital invertido en los equipos (sucres)

Q = producción anual de energía (GJ)

$C_T$  = proyección del costo total de la energía

## 5.2. COSTO DEL AISLAMIENTO TERMICO

El costo del aislamiento térmico es la variable más sensitiva dentro del análisis para el espesor económico. Para realizar este análisis es necesario :

1. Conocer como varía el precio por aislamiento instalado con el espesor para tamaños específicos de tuberias y superficies.

El factor de costo incremental  $m_c$  provee esta necesidad.

2. Expresar la inversión de aislamiento en un gasto anual incluyendo mantenimiento.
3. Corregir el precio del aislamiento instalado de tal manera que incluya el costo del aislamiento y accesorios.

El costo incremental del aislamiento  $m_c$  es determinado directamente del precio unitario del aislamiento instalado. Este factor representa así, el promedio de incremento en precio, por cada pulgada de aislamiento.

Puesto que los precios por aislamiento instalado se incrementan en forma sustancial cuando el aislamiento es aplicado en capas, luego un factor de costo incremental deberá determinarse para cada aplicación de capa aislada. (4)

Para cada tamaño de tubería se debe analizar lo siguiente, de acuerdo al costo incremental de simple, doble, o triple capa:

- El tamaño de tubería
- El precio de instalación  $P_1$  para un espesor de una capa simple  $L_1$ .
- El precio de instalación  $P_2$  para un espesor al extremo superior de la primera capa,  $L_2$ .
- El valor apropiado para  $P_c$  que tiene relación con el número de accesorios en la tubería para un tramo específico. Este valor varía entre 1.15 y 1.60 (4).
- El valor del costo incremental

$$m_c = P_c \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1}$$

Para aplicaciones con doble o triple capa realizar

nuevamente este análisis (4)

Dos costos básicos determinan el precio del aislamiento instalado "P".

1. Precio del material  $P_m$
2. Mano de obra para la instalación  $M_o$

Entonces:

$$P = P_m + M_o$$

Los precios de los materiales están directamente relacionados al volumen y costos del aislamiento.

Los costos de mano de obra varían considerablemente y están influenciados por:

- Costo de producción (suces/horas-hombre)
- Rendimiento (horas-hombre/ML o  $m^2$  de aislamiento)
- Volumen de trabajo

Los Costos de Producción consideran básicamente el salario por hora que percibe el trabajador o los trabajadores que realizarán el trabajo.

El rendimiento (horas - hombre requeridas para aislar un segmento de tubería) es otro elemento variable que depende de:

- Tipo de material usado
- Condiciones de trabajo
- Eficiencia de producción (usualmente decrece con el tiempo en una jornada de trabajo).

El volumen de trabajo es el tercer elemento que fija el costo unitario de la instalación del aislamiento (Suces / ML de tubería o suces/m<sup>2</sup> de superficie) y a su vez depende de:

- Costo de preparación
- Costo de supervisión
- Costos indirectos de Administración

En la práctica, no siempre puede desglosarse cada costo en particular. En el presente trabajo se optó por añadir al costo de materiales un sobreprecio que incluye un porcentaje - razonable para cubrir los gastos de instalación (mano de obra).

### 5.3. COSTOS DE SISTEMAS DE RECUPERACION DE CALOR

La función principal de un sistema de recuperación de calor es realizar el intercambio de calorías entre 2 fluidos separados por una pared sólida.

En esta transferencia de calor del fluido más caliente al más frío, todo el calor del primero que pudiendo intercambiarse no se transfiere al segundo, se considera como una pérdida en el proceso.

Esta pérdida disminuye a mayor superficie del intercambiador, pero el aumento de ésta incrementa el costo del equipo. Existirá por lo tanto una superficie de intercambiador que haga óptima la suma de los costos y de los gastos debido a las pérdidas.(3)

#### VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LOS CALCULOS

##### Características del Recuperador de Calor

$A$  = superficie de transferencia de calor ( $m^2$ )

$\lambda'$  = coeficiente de permeabilidad térmica ( $J/m^2, s, C$ )

$C_1$  = costo de la parte fija del equipo (sucres)

$C_2$  = costo de la parte proporcional a la superficie del equipo (sucres/ $m^2$ ).

##### Características de los fluidos

###### Fluido caliente:

$t_{ce}$  temperatura de entrada en el intercambiador  $^{\circ}C$

$t_{ce}$	temperatura de entrada en el intercambiador °C
$t_{cs}$	temperatura de salida del intercambiador °C
$M_c$	calidad del fluido Kg/s
$C_c$	calor específico del fluido J/Kg°C
$M_c \cdot C_c$	flujo calorífico por grado J/°C,s
$\psi_c$	proporción calor transferido/calor gastado
$\theta_c = M_c C_c \psi_c$	capacidad portadora J/°C,s

### Fluido frio

$t_{fe}$	temperatura de entrada en el intercambiador °C
$t_{fs}$	temperatura de salida del intercambiador °C
$M_f$	calidad del fluido Kg/s
$C_f$	calor específico del fluido J/Kg°C
$M_f C_f$	flujo calorífico por grado J/°C,s
$\psi_f$	proporción calor transferido/calor gastado
$\theta_f = M_f C_f \psi_f$	capacidad portadora J/°C,s

$$r = \frac{\theta_c}{\theta_f} \quad \text{relación de capacidades portadoras}$$

$$m = \lambda' \frac{\theta_f + \theta_c}{\theta_f + \theta_c} \quad \text{relación característica del intercambiador de flujo en paralelo}$$

### Características de la Instalación

n	años de vida industrial
i	tipo de interés financiero (decimal)
$P_c$	precio de la energía (sucres/Joule)
T	tiempo de utilización del equipo (horas/año)

Con estas variables se puede determinar cual será el mínimo costo del sistema de recuperación de calor que permita obtener un valor óptimo para la diferencia de temperaturas.

$$t_{cs} - t_{qs}$$

El análisis de este cálculo se lo puede encontrar en la referencia bibliográfica N° 3.

#### 5.4. ECONOMIA GLOBAL DEL PROCESO DE AHORRO ENERGETICO

El análisis económico global no se puede comparar en términos de los gastos totales involucrados y los ahorros totales que se quieren, sino más bien en función del tiempo de recuperación de la inversión.

Esto es, se comenzará implementando aquellas alternativas de conservación que sugieran poco o nada de inversión y luego de acuerdo a la política de inversiones que tenga la empresa, las demás alternativas.

En general un análisis económico global, debe medirse en términos del porcentaje de ahorro de energía que se logre y de la inversión que se requiera.

Desde el punto de vista de recuperación de la inversión el Análisis Económico se lo puede hacer - utilizando.

- Tiempo simple de recuperación de la inversión (repago simple).

- Tasa interna de retorno.

La primera es definida como la relación entre el costo de la inversión inicial y el ahorro anual neto es decir:

$$P_{RS} = \frac{CI}{C_T \times AE}$$

Donde:

$P_{RS}$  = es el período de repago simple (Años)

CI = es el costo de la inversión inicial (sucres)

$C_T$  = es el costo total de la energía (Suces/GJ)

$A_E$  = es el ahorro neto de energía (GJ/AÑO)

Este análisis económico es aplicable sólo en aquellos casos en que la inversión es del orden del ahorro producido; es decir:

$$P_{RS} \leq 1.5 \text{ años}$$

Considerando además que la vida útil de los materiales y/o equipos comprados con la inversión inicial no sea menor a 10 años.

El segundo método del análisis económico se basa en la determinación de la tasa interna de retorno.

Este método consiste en, dada una inversión y su recuperación anual durante un período determinado de años, buscar el tanto por ciento tal que la siguiente ecuación se satisfaga:

$$PW = 0 = I + A (P/A, i \text{ o/o}, n)$$

En la cual:

$PW$  = sumatoria de la inversión y los valores pre sentes de las anualidades.

$I$  = valor de la inversión

$A$  = valor de las anualidades al final de cada año.

$(P/A, i\%, n)$  = factor de valor presente al  $i$  % de interés de un período de  $n$  años.

Puesto que se conoce el valor de la inversión y la estimación de las Anualidades que esta inversión produciría, se busca por tanteo el tanto por ciento  $i$  con que ésta inversión se recupera.

Para esto, a cada anualidad se le determina su valor pre sente a un determinado % (considerado positivos); es tos valores se suman a la inversión inicial (consi- derada negativa) y el resultado debe ser cero.

Si para un tanto por ciento usado  $PW$  es positivo y para otro es negativo, el tanto por ciento se buscará - por interpolación.

En el siguiente ejemplo ilustraremos el método.

Una industria piensa invertir S/.1'500.000,00 en equipos

cuya vida útil se estima en 10 años sin valor de salvamento. A consecuencia de esta inversión se espera ahorrar un promedio de S/.280.000,00 anuales.

$$PW \text{ al } 15 \% = - 1'500.000 + A(A/P, 15 \%, 10)$$

$$= - 1'500.000 + 280.000(5,019) = -94.680,00$$

$$PW \text{ al } 14 \% = - 1'500.000 + 280.000 (5,216) = -39.520,00$$

$$PW \text{ al } 13 \% = - 1'500.000 + 280.000 (5,426) = 19.280,00$$

Luego la tasa de retorno está entre 13 y 14 %, este valor se determina por interpolación, nos da 13,3 %.

Se puede definir en resumen la tasa interna de retorno como aquel valor de interés que aplicado a los ahorros y gastos producidos por las medidas de conservación, durante su vida útil, conduce a un ingreso neto igual a la inversión inicial.

## CAPITULO VI

### 6. ANALISIS DE UN CASO DE ESTUDIO. INDUSTRIA DE FABRICACION DE PAPEL

Como se anota en el Capitulo II de esta tesis, las oportunidades de ahorro energético en una industria se pueden enmarcar en tres categorías, de las cuales, las medidas de mantenimiento y operación son las que se pueden evaluar e implementar sin mayores inversiones de capital y a su vez pueden por si mismo constituir un buen porcentaje de ahorro energético una vez que se las lleva a la práctica.

Antes de proceder a evaluar los ahorros energéticos en ésta industria se procedió a hacer un estudio de la planta, recorrer sus instalaciones, localizar obvias áreas de desperdicio energético, conocer del proceso productivo, del uso y producción de la energía, del horario de trabajo en cada uno de sus departamento.

Esta evaluación se la hizo en dos etapas:

- Entrevista con el Gerente de Planta.
- Observación de las instalaciones

Una vez realizado el recorrido por la planta y después de evaluar las posibilidades de ahorro energético existente en la misma, se procedió a solicitar la colaboración de la empresa para llevar a cabo este estudio que incluye el análisis del potencial de ahorro energético en la fábrica. Ver Apéndices del A al D.

Para presentar en forma ordenada y sistemática este análisis es menester dividirlo en tres partes básicas:

- Generalidades del proceso productivo
- Datos de Producción y consumo de energía
- Cálculos y Resultados

#### 6.1. GENERALIDADES DEL PROCESO PRODUCTIVO

El término fabricación de papel incluye generalmente todo el equipo usado en el manejo y la formación de una suspensión en agua refinada de fibras mezclada hasta obtener el papel terminado. Independiente del tipo, las máquinas de fabricación de papel constan de tres unidades básicas:

- Sección de formación
- Sección de prensa; y,
- Secador.

El proceso comienza en el pulper, que es donde se combina la pulpa refinada junto con aditivos tales como blanqueadores y espesadores, con una consistencia del 2-4 o/o de sólidos. Pasa luego a través de las etapas de batido, limpieza, filtrado y deaireación.

Luego el producto es diluido por agua blanca reciclada e ingresa a las tinajas de la máquina a una consistencia del 0.5 o/o de sólidos. Viniendo de las tinajas el producto es refinado y formado en hojas o láminas, haciendo pasar la mezcla, a través de válvulas ubicadas a todo lo ancho de la mesa de formación.

Aquí se incrementa la sequedad en un 2.5 o/o y con la succión la aumenta al 12 o/o.

Un rodillo de succión al final de la mesa de formación incrementa la consistencia al 18 - 23 o/o.

Luego las prensas remueven más agua e incrementan

la consistencia a un 35 - 50 o/o.

La humedad restante es removida por evaporación en el secador. Operaciones de recubrimiento y acabado viene luego de la sección de secado y finalmente el papel es rebobinado. Ver figura N°12..

Los requerimientos primarios de energía para la fabricación de papel es la energía térmica por remoción de agua y secado.

## 6.2. DATOS DE PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA

La fábrica en estudio produce tres tipos básicos de papeles:

- Kraft
- Absorbentes y
- Liners - cartulinas

Para la fabricación de los mismos cuenta con dos máquinas de papel que llamaremos PM1 y PM2.

La máquina PM1 fabrica papeles absorbentes y Kraft de hasta 80 gr./m<sup>2</sup> de espesor, y en la máquina PM2 se fabrican papeles más gruesos como ser liners, Kraft de mayor gramaje hasta 350 gr/m<sup>2</sup> ó

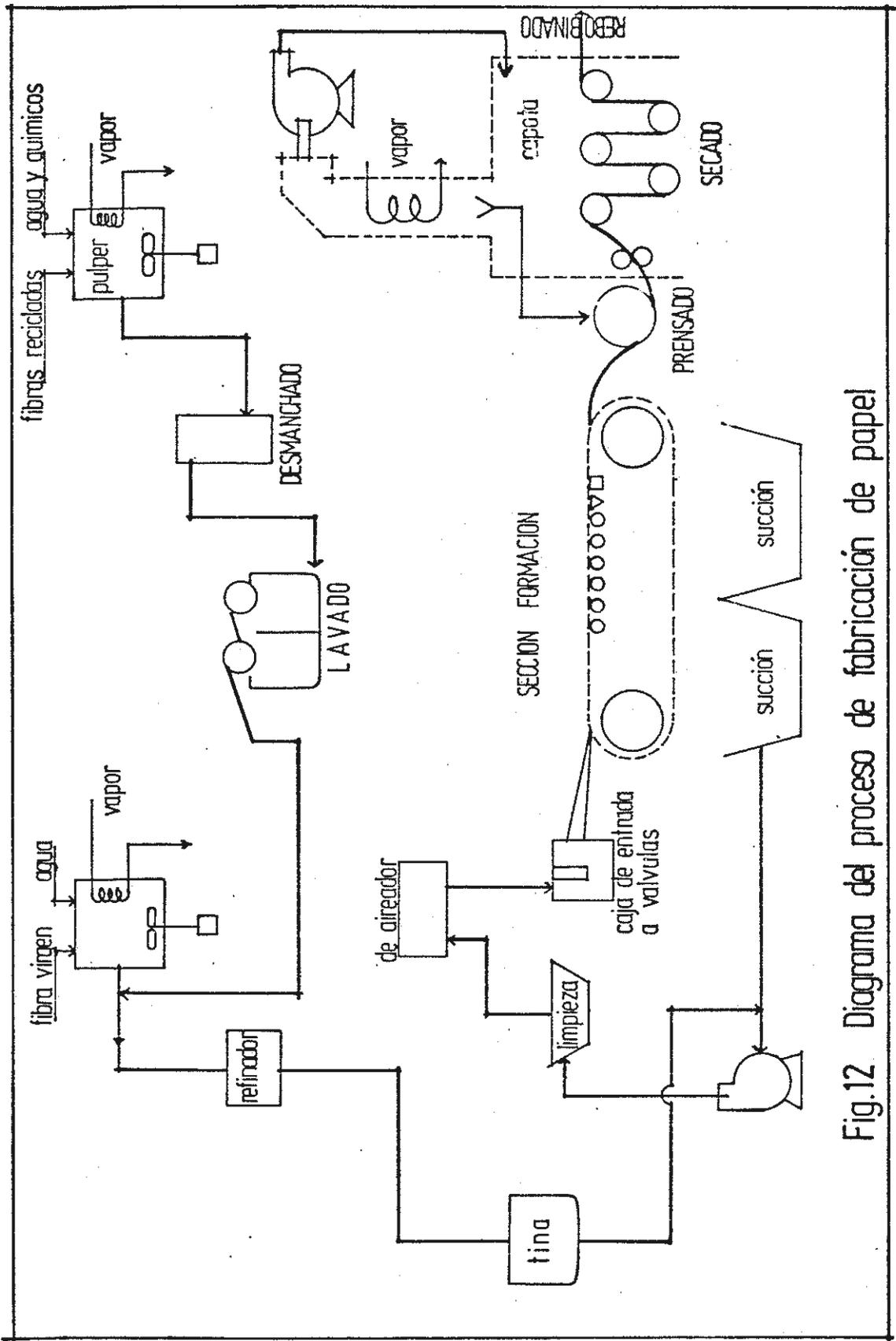


Fig.12 Diagrama del proceso de fabricación de papel

papeles que requieran acabado superficial.

En la tabla XXI se muestran los datos de producción del mes de noviembre de 1.984, indicando para cada máquina los tipos de papel que se fabricaron y los porcentajes de producción.

En las tablas XXII y XXIII, se detallan diariamente la producción, consumo de energía de las máquinas PM1 y PM2, respectivamente, así como también se calcula el consumo específico de energía diario.

Es de notar como varía el consumo específico de energía en función de la producción, Ver figura N° 13, encontrando para la máquina PM1 un valor máximo y mínimo para los días 23 y 19, respectivamente, - 1752 - 456 ( $10^{-3}$  TEP/TON PAPEL), días de los cuales se registran las mínimas y máximas producciones del mes, 2.46 - 20.5 (Toneladas de papel).

Este comportamiento muestra una tendencia normal, es decir disminución del consumo específico de energía al aumentar la producción hasta un límite en el cual

TABLA XXI

Producción mes de noviembre, tipos de papel  
y porcentajes

TIPO DE PAPEL	MAQUINA PM1		PRODUCCION TIEMPO		MAQUINA PM2		PRODUCCION TIEMPO	
	TON.	HORAS	%	%	TON.	HORAS	%	%
KRAFT 31 gr.	233,1	322,08	59	57,6				
KRAFT 41 gr.	42,6	39,67	10,8	7,1				
KRAFT 50 gr.	46,8	65,58	11,8	11,7				
SERVILLETA 32 gr.	67,7	112,42	17,1	20,1				
FACIAL 19 gr.	5,1	19,83	1,3	3,5				
CORRUGADO 1/2 150 gr.					412,1	196,25	42,4	39,5
CORRUGADO 1/2 170 gr.					442,1	229,08	45,5	46,0
KRAFT LIDER 208 gr.					118,3	72,00	12,1	14,5
	395,3	559,58	100,0	100,0	972,5	497,33	100,0	100,0

TABLA XXII

Producción y consumo de energía diario para maquina PM1  
de industria nacional de papel

DIA	PRODUCCION PM1 TON/DIA	CONSUMO VAPOR TEP/D	C.E.V. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	CONSUMO* ELEC.TEP/D	C.E.Ec. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	C.E.E. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	TIPO DE PAPEL
01-11-84	13.78	7.35	533	1.66	120	653	Kraft 31 gr.
2	13.60	7.67	564	1.72	126	690	
3	15.76	7.67	487	1.73	110	597	
4	14.68	7.67	522	1.73	118	640	
5	12.02	7.67	638	1.78	148	786	
6	15.25	7.67	503	1.74	114	617	
7	6.31	4.79	759	1.33	211	970	
8	10.87	6.39	588	1.55	143	731	
9	11.03	6.39	579	1.62	147	726	
10-11-84	14.84	7.67	517	1.78	120	637	
11	16.66	7.67	460	1.85	111	571	
12	12.68	6.07	479	1.65	130	609	
13	15.27	7.67	502	1.86	122	624	
14	13.17	6.71	509	1.66	126	635	
15	17.31	7.67	443	1.77	102	545	
16	9.17	4.15	453	1.15	125	578	
17	20.71	7.67	370	1.85	89	459	
18	14.88	7.35	494	1.77	119	613	
19	20.50	7.67	374	1.69	82	456	Kraft 50 gr.
20	17.24	7.35	426	1.70	99	528	
21	20.33	7.67	377	1.72	85	462	Higienico 32 gr.
22	16.38	7.03	429	1.70	104	533	
23	2.46	3.19	1297	1.12	455	1752	Higien.19 gr.
24	7.72	7.35	952	1.57	203	1155	
25	13.15	7.47	568	1.62	123	691	Higien.19 gr.
26	11.96	7.47	625	1.65	138	763	
27-11-84	10.07	6.07	603	1.48	147	750	Higien.19 gr.
28	10.62	7.03	662	1.58	149	811	
29	7.68	4.79	624	1.29	168	792	Higien.19 gr.
30-11-84	9.11	7.67	842	1.61	177	1019	

\* El consumo electrico se calcula : (consumo en kw.hr.de PM1) + 35% (consumo en kw.hr. de planta fuerza + servicios generales)

FUENTE: Reportes mensual de producción PM1  
" " " " consumo de energía para PM1, planta de fuerza y servicios generales.

TABLA XXIII

Producción y consumo de energía diario para maquina PM2  
de industria nacional de papel

DIA	PRODUCCION PM2. TON/DIA	CONSUMO VAPOR TEP/D	C.E.V. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	CONSUMO* ELEC. TEP/D.	C.E.Ec. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	C.E.E. 10 <sup>-3</sup> TEP/TON	TIPO DE PAPEL
01-11-84	35.39	8.91	252	3.10	88	340	Corrugado
2	37.44	9.30	248	3.31	88	336	1/2 - 170gr.
3	40.51	9.30	230	3.26	80	310	↓
4	43.76	9.30	213	3.23	74	287	↓
5	43.10	9.30	216	3.25	75	291	Corrugado
6	42.44	9.30	219	3.30	78	297	1/2 - 150gr.
7	51.13	9.30	182	3.48	68	250	↓
8	41.50	8.13	196	3.35	81	277	↓
9	29.29	5.81	198	2.51	86	284	↓
10	22.29	7.75	348	2.97	133	481	Corrugado
11	48.93	9.30	1.90	2.62	54	244	1/2 - 170gr.
12	7.84	1.94	247	1.30	166	413	↓
13	—	—	—	0.78	—	—	
14	—	—	—	0.69	—	—	
15-11-84	—	—	—	0.52	—	—	
16	21.76	5.81	267	2.07	95	362	1/2 - 150gr.
17	42.45	9.30	219	3.32	78	297	Corrugado
18	46.03	8.91	194	3.21	70	264	1/2 - 170gr.
19	38.41	7.75	202	2.78	72	274	↓
20	43.09	9.30	216	3.16	73	289	↓
21	40.28	8.52	212	3.02	75	287	↓
22	39.11	9.30	238	3.23	83	321	↓
23	32.33	7.36	228	2.55	79	307	Liner 208g.
24-11-84	18.03	5.81	322	1.85	103	425	↓
25	29.87	9.30	311	2.55	85	396	↓
26	35.70	9.30	261	2.77	78	339	↓
27	32.74	9.30	284	2.98	91	375	Corrugado
28	44.61	9.30	208	3.05	68	276	1/2 150gr.
29	28.71	9.30	324	3.10	108	432	↓
30	35.80	9.30	260	2.51	70	330	↓

\* El consumo electrico se calcula : ( consumo en kw.hr.de PM2) + 65%( consumo en kw.hr. de planta fuerza +servicios generales)

FUENTE: Reportes mensual de producción PM2  
" " " consumo de energía para PM2, planta de fuerza y  
servicios generales.

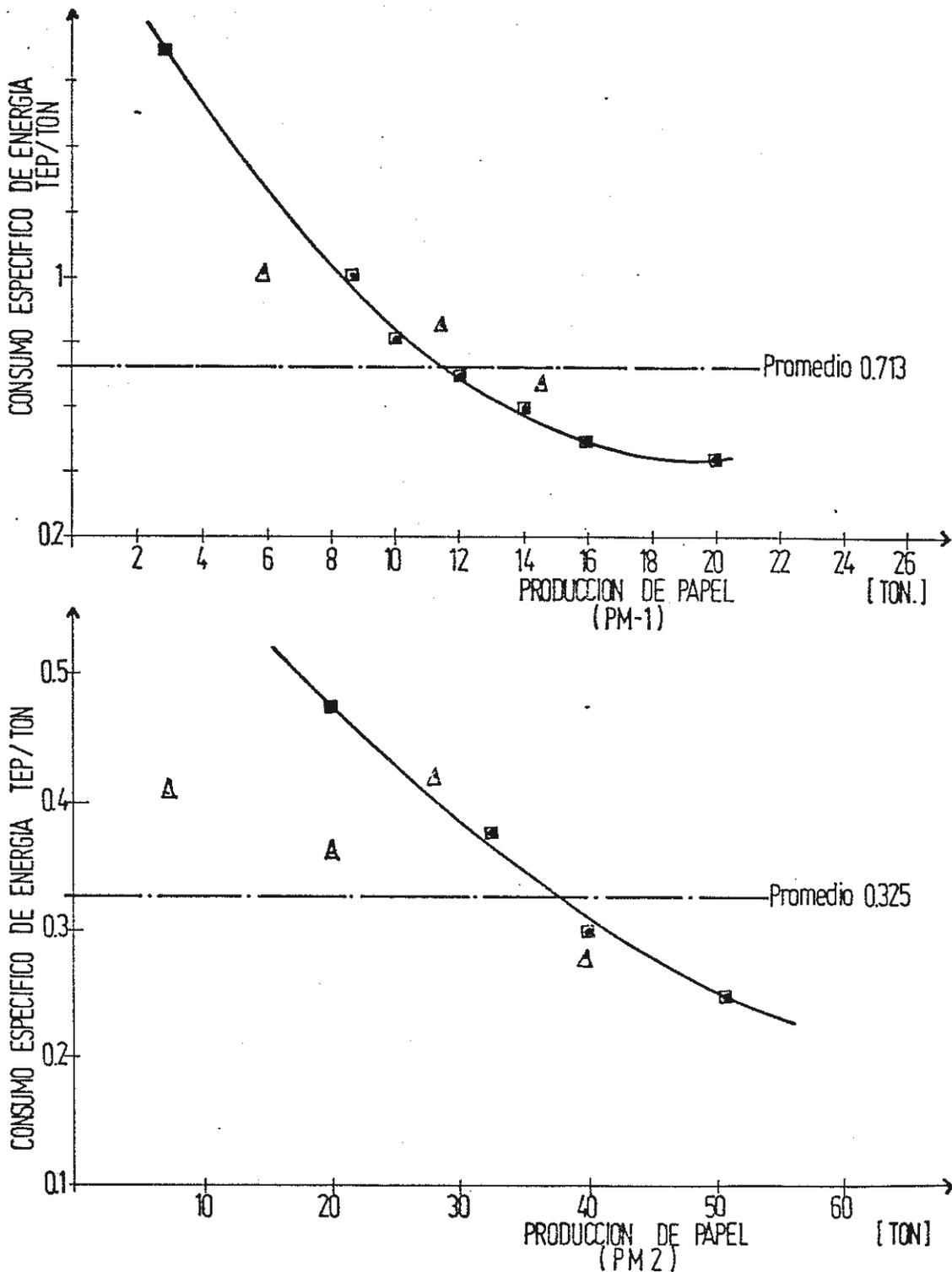


Fig.13 Comportamiento del C.E.Er\* vs. producción de papel

- \* C.E.Er Consumo específico de energía.
- Condiciones normales de producción
- △ Condiciones anormales de producción (por ej: cambios bruscos en niveles de producción, interrupciones en el proceso, fallas técnicas.....)

La curva tiende a estabilizarse.

La selección de estos puntos se lo ha hecho tomando en consideración lo siguiente:

- Máximas y mínimas producciones.
- Promedios de los consumos específicos de energía para aquellos días en que las producciones son similares, con variación de producción, en  $\pm 10\%$ .
- Eliminación de aquellos puntos que manifiestan un comportamiento anormal en el proceso, originado por fallas mecánicas paradas por mantenimiento o cambios bruscos en los niveles de producción.

La tabla XXIV muestra el consumo de energía y costos por tipos de combustible para el mes de noviembre.

Los costos marginales de energía son tomados del último trimestre de 1.984.

TABLA XXIV

## Consumo de energía y costo mensual de industria nacional de papel

	UNIDAD	CONSUMO	COSTO SUCRES	PORCENTAJE - COSTO TOTAL	CONSUMO EQUIVALENTE GJ	COSTO MARGINAL ENERGIA (S/GJ)	% CONSUMO TOTAL
Electricidad	KWH	441.600	1'457.280	28.7	1590	916.67	4.6
Residuo	GAL.	135.494	1'761.422	34.7	20.549	85.30/(164.00)	59.3
Diesel	GAL.	91.076	1'867.058	36.6	12.587	148.34/(289.40)	36.1
			5'085.760	100.00%	34.826		100.0 %

EQUIVALENCIA A GJ:

Electricidad 0.0036 \* kwh.

Residuo 0.1524 \* gal.

Diesel 0.1382 \* gal.

COSTOS:

3.3 sucres / kwh.

13.0 sucres / gal. ( 25 sucres / galón )

20.50 sucres / gal. ( 40 sucres / galón )

FUENTE: Reporte mensual de consumo de combustibles, vapor y electricidad de la fca. de papel (nov. 84)

En las tablas XXV y XXVI, se calcula la variación del costo marginal de la energía en relación al costo del galón de residuo y diesel, respectivamente.

### 6.3. CALCULOS Y RESULTADOS

Los cálculos efectuados se detallan en los Apéndices E y K y en la tabla XXVII se muestra el resultado total de los ahorros que se obtendrían de implementar las siguientes medidas de conservación.

#### MEDIDA 1:

Mejoras en la utilización del vapor: este ahorro representa el 2.18 o/o del consumo equivalente de residuo.

Su implementación requiere una reprogramación de trabajo para utilizar un caldero de menor capacidad y evitar grandes pérdidas por radiación al operar el caldero - muy por debajo de su capacidad máxima (ver sección - 2.1.3. y figura N° 6).

La implementación de esta medida dejaría fuera de consideración el ahorro producido por el control de la relación aire/combustible mediante un controlador de oxígeno en la combustión. Ver Apéndice F.

TABLA XXV

Variación del costo marginal de la energía en relación al costo del galón del residuo

SUCRES / GALON	SUCRES/ GJOULE	FACTOR DE CRECIMIENTO DEL AHORRO f.c.a.*
13**	85.3	100
25	164.0	1.92 (92%)
30	196.9	2.31 (131%)
40	262.5	3.08 (208%)
50	328.1	3.85 (285%)
60	393.7	4.62 (362%)
70	459.3	5.38 (438%)
80	524.9	6.15 (515%)
90	590.6	6.92 (592%)
100	656.2	7.69 (669%)

\* f.c.a. :  $\frac{\text{costo de la energía}^1 \text{ (GJ) ahorrada al nuevo valor del combustible}}{\text{costo de la energía}^1 \text{ (GJ) ahorrada al valor referencial (s/ 13/galón)}}$

1 Solo se toma en cuenta el costo directamente imputable a los GJ ahorrados.

\*\* Costo referencial del IV trimestre de 1984 (s/ 13/galón)

TABLA XXVI

Variación del costo marginal de la energía en relación al costo del galón de diesel

SUCRES / GALON	SUCRES / GJOULE	FACTOR DE CRECIMIENTO DEL AHORRO f.c.a.*
20.5	148.34	1
40	289.44	1.95 (95%)
50	361.79	2.44 (144%)
55	397.97	2.68 (168%)
60	434.15	2.93 (193%)
65	470.33	3.17 (217%)
70	506.51	3.41 (241%)
75	542.69	3.66 (266%)
80	578.87	3.90 (290%)
90	651.23	4.39 (339%)
100	723.59	4.88 (388%)

\* f.c.a.:  $\frac{\text{costo de la energía}^1 \text{ (GJ) ahorrada al nuevo valor del combustible}}{\text{costo de la energía}^1 \text{ (GJ) ahorrada al valor referencial (S. 20/galón)}}$

1 Solo se toma en cuenta el costo directamente imputable a los GJ ahorrados

# TABLA XXVII

## Resumen total de ahorros de energía\*

	DATOS DE ENERGIA				DATOS DE COSTOS		
	energía ahorrada GJ/mes	ahorro mensual		porcentaje del ahorro		costo total sucres	repagos• años
		sucres	energía	costos	energía		
1. Mejoras en la utilización del vapor.	450	38.385	8.24%	4.83%	—	Inmediato	
2. Control de oxígeno en la combustión.	759	64.743	13.91%	8.14%	1'200.000	1.5	
3. Aislamiento en tuberías de vapor.	576	49.133	10.55%	6.18%	393.235	0.7	
4. Aislamiento en tuberías de condensado y tanque.	176	15.013	3.22%	1.89%	340.540	1.9	
5. Reparación de fugas de vapor.	738	62.951	13.52%	7.92%	50.000	0.1	
6. Recuperación de condensado.	1.383	117.970	25.34%	14.84%	230.000	0.2	
7. Incremento del factor de potencia.	A1 316 A2	157.226 289.674	19.42% 5.80%	19.77% 36.43%	1'482.000 922.390	0.8 0.3	
TOTAL	5.458	795.095	100%	100%			

\* Basado en el costo referencial de combustible indicado en tabla XXIV valido para el IV trimestre de 1984.  
 • Repago en el periodo de recuperación de la inversión.

En la tabla XXVIII se muestran los cálculos sin con  
siderar la medida 2.

#### MEDIDA 2

Control de oxígeno en la combustión: Este ahorro re  
presen<sup>t</sup>a el 3.68 o/o del consumo equivalente de residuo.

Su implementación requiere de una inversión con  
siderable, por lo tanto el análisis económico se lo hace en  
función de la tasa interna de retorno considerando la vi  
da útil del equipo de 10 años. Ver Apéndice F.

Esta medida se implementaría siempre y cuando el -  
caldero en uso sea el del Análisis, puesto que en el  
momento del estudio sólo se encontraba trabajando es  
te caldero, no se tienen los elementos de juicios  
necesarios para suponer que los otros calderos lo  
necesitan.

#### MEDIDA 3

Aislamiento de tuberías de vapor: Este ahorro re  
presen<sup>t</sup>a el 2.79 o/o del consumo equivalente de residuo.

En la figura 5 ,se observa como las perdidas de ca  
lor en tuberías sin aislamiento constituye un va  
lor digno de ser considerado. Ver Apéndice G.

# TABLA XXVIII

## Resumen total de ahorros de energía\*\*

	DATOS DE ENERGIA				DATOS DE COSTOS	
	energía ahorrada GJ/mes	ahorro mensual sucres*	porcentaje del ahorro		costo total sucres	repagos años
			energía	costos		
1. Mejoras en la utilización del vapor.	450	38.385	9.67%	5.28 %	—	Inmediato
3. Aislamiento en tuberías de vapor.	576	49.133	12.38%	6.76 %	393.235	0.7
4 Aislamiento en tuberías de condensado y tanque.	176	15.013	3.78%	2.07 %	340.540	1.9
5 Reparación de fugas de vapor.+	692	59.028	14.87%	8.13 %	50.000	1.0
6. Recuperación del condensado	1.383	117.970	29.72%	16.24%	230.000	0.2
7. Incremento del factor de potencia	1.060 316	157.226 289.674	22.78% 6.80%	21.64 % 39.88 %	1482.000 922.390	0.8 0.3
TOTAL	4.653	726.429	100.00%	100.00 %		

\* Basado en el costo referencial de combustible indicado en tabla XXIV valido para el IV trimestre de 1984

\*\* Sin considerar medida 2

+ Se considera fugas de vapor saturado

• Repago en el periodo de recuperación de la inversión.

Los beneficios de implementar esta medida, además del considerable ahorro energético, lo constituye - las mejoras en la eficiencia del uso energético en el proceso y el incremento de la capacidad de salida del sistema.

#### MEDIDA 4

Aislamiento en tuberías de condensado y tanques: Este ahorro representa el 0.85 o/o del consumo equivalente de residuo.

Esta medida si bien no representa un ahorro considerable de energía, involucra conservación de la temperatura del condensado y por lo tanto disminución de la cantidad de calor necesario para llevar la temperatura del agua de alimentación a los valores requeridos. Ver. Apéndice H.

#### MEDIDA 5

Reparación de fugas de vapor: Este ahorro representa el 3.57 o/o del consumo equivalente de residuo.

Este ahorro sólo considera las fugas de vapor en - la línea de distribución, ver Apéndice I, no se considera las fugas de vapor en trampas defectuosas o mal instaladas, en válvulas, etc. Es de suponer en

tonces que esta medida puede representar un ahorro mayor.

#### MEDIDA 6

Recuperación de condensado: Este ahorro representa el 6.70 o/o del consumo equivalente de residuo.

La recuperación de condensado tiene beneficios colaterales como se menciona en la sección 2.2.3., por lo tanto su implementación producirá ahorros económicos mayores a los considerados en este trabajo. Ver Apéndice J.

#### MEDIDA 7

Incremento del factor de potencia: Este ahorro representa el 8.42 o/o del consumo equivalente de diesel para la electricidad autogenerada y el 19.87 o/o del consumo equivalente de la electricidad comprada.

Es de notar que en la planta de papel el uso de la energía eléctrica constituye el 40.7 o/o del uso de energía y su costo el 65.3 o/o del costo total, figura 14.

Al momento de la Auditoría se estaba trabajando con un factor de potencia de 0.87 para la energía eléctrica generada en el generador a diesel (G-2) y 0.81, para la energía eléctrica comprada.

El cálculo está hecho para elevar el factor de potencia a 0.95. Ver Apéndice K.

## RESULTADOS

El ahorro total que se consigue al implementar - estas medidas están representadas en el cuadro que encontraremos en la siguiente página.

El ahorro promedio sería de 15.7 %, si comparamos este porcentaje con las toneladas equivalente de petróleo ahorradas tendríamos:

AL MES

$$5.458 \frac{\text{GJ}}{\text{MES}} \frac{2.39 \times 10^{-2}}{1 \text{ GJ}} \text{ TEP}$$

$$= 131 \text{ TEP/MES}$$

AL AÑO

$$= 1.572 \text{ TEP/AÑO}$$

CUADRO DE AHORROS GLOBALES  
POR TIPO DE COMBUSTIBLE

	CONSUMO EQUI- VALENTE GJ a.	AHORRO EN GJ. b.	AHORRO EN % c. *	AHORRO TOTAL EN % d. **
ELECTRICIDAD COMPRADA	1.590	316	19.89%	0.91%
RESIDUO (FUEL OIL N°6)	20.649	4.082	19.77%	11.72%
DIESEL PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA	12.587	1.060	8.42%	3.04%
<b>TOTAL</b>	<b>34.826</b>	<b>5.458</b>	<b>15.67</b>	<b>15.67</b>

$$* c = \frac{b}{a} \times 100 \quad (\%)$$

$$** d = \frac{b}{\text{Total a}} \times 100 \quad (\%)$$

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permi  
ten concluir lo siguiente:

1. El potencial de conservación energética que existe en la industria, en términos generales se encuentra entre el 15 - 20 % del consumo total de energía.
2. El mantenimiento energético y la programación de - operaciones son medidas de conservación que generan grandes ahorros y pequeñas inversiones. Pero serán considerados como importantes una vez que se tome conciencia de la necesidad de un programa de conser  
vación energética por parte de las industrias.
3. Las medidas de conservación energética consideradas en el caso de estudio de la Industria de Papel, son de facil aplicación y bajo costo si se consideran - los precios actuales de los combustibles, Tabla XXIX, todas las alternativas tienen un período de repago de la inversión menor a un año.



4. El porcentaje de ahorro debido a medidas de conservación tendientes al cambio de equipos, es realmente alto, pero trae implicaciones económicas variadas considerando que en nuestro país los equipos industriales son importados, el precio del dólar en los actuales momentos hace cada vez más difícil adquirirlos.

Por lo tanto se recomienda lo siguiente:

1. La presencia de un encargado de la energía en una planta industrial es cada vez más necesaria. Este deberá trabajar en conjunto con el Ingeniero de Producción de la planta. Nótese por ejemplo la reducción del consumo específico de energía al aumentar la producción de papel. Ver figura N° 13.

Esto requerirá obviamente un trabajo mancomunado de reprogramación de operaciones para tratar de minimizar cambios innecesarios y evitar operaciones a baja producción.

La concientización del personal de planta sobre el ahorro energético es fundamental.

2. Estudios más profundos, especialmente en el área de proceso, se recomienda hacer para obtener así el ahorro potencial de energía global de la planta.
  
3. Los ahorros que se producen deben ser evaluados constantemente en función del costo actualizado de la energía y mano de obra.

A P E N D I C E S

APENDICE A

DETALLES DE CALDEROS DE VAPOR

LOCALIZACION: PLANTA DE FUERZA

DATOS DEL CALDERO N° 2

FABRICANTE: BABCOK WILCOK COMBUSTION

AÑO DE INSTALACION: 1969

TIPO: ACUOTUBULAR

PRESION DE OPERACION: 400 PSI (180-200 PSI Actual y 500°F Vapor supercalentado)

CAPACIDAD: 1700 Hp.

DATOS DEL QUEMADOR

COMBUSTIBLE USADO: (PODER CALORIFICO 152400 K JOULE/GALON)

AÑO DE INSTALACION: 1974

TIPO: ATOMIZACION CON VAPOR

TIRO: FORZADO

CONTROL: AUTOMATICO/MANUAL

PRESION DEL COMBUSTIBLE: 90 PSI

PRESION DEL VAPOR: 105 PSI

CONTROL TIRO: AUTOMATICO/MANUAL

NUMERO: TRES

NOTA: Existen en la planta de fuerza cuatro calderos.

Los calderos N° 1, N° 2, son del mismo tipo que el indicado

arriba. Los calderos N° 3, N° 4, son del tipo paquete - YORK SHIPLEY fabricados en 1.979, trabajan a una presión de 150 PSI, generan 34500 lb/hr de vapor, queman residuo, poseen un sólo quemador. Normalmente los calderos N° 3 y N° 4 se los usa para producir vapor para el proceso, y el caldero N° 2 para generar vapor para una turbina que genera la energía eléctrica para la fábrica en general.

Al momento de este estudio sólo se encontraba trabajando el caldero N° 2 y generando vapor para el proceso de fabricación. La energía eléctrica se la obtendrá de un generador a diesel en un 70.7 o/o y del suministro de la Empresa Eléctrica en un 29.3 o/o . Ver figura N° 14.

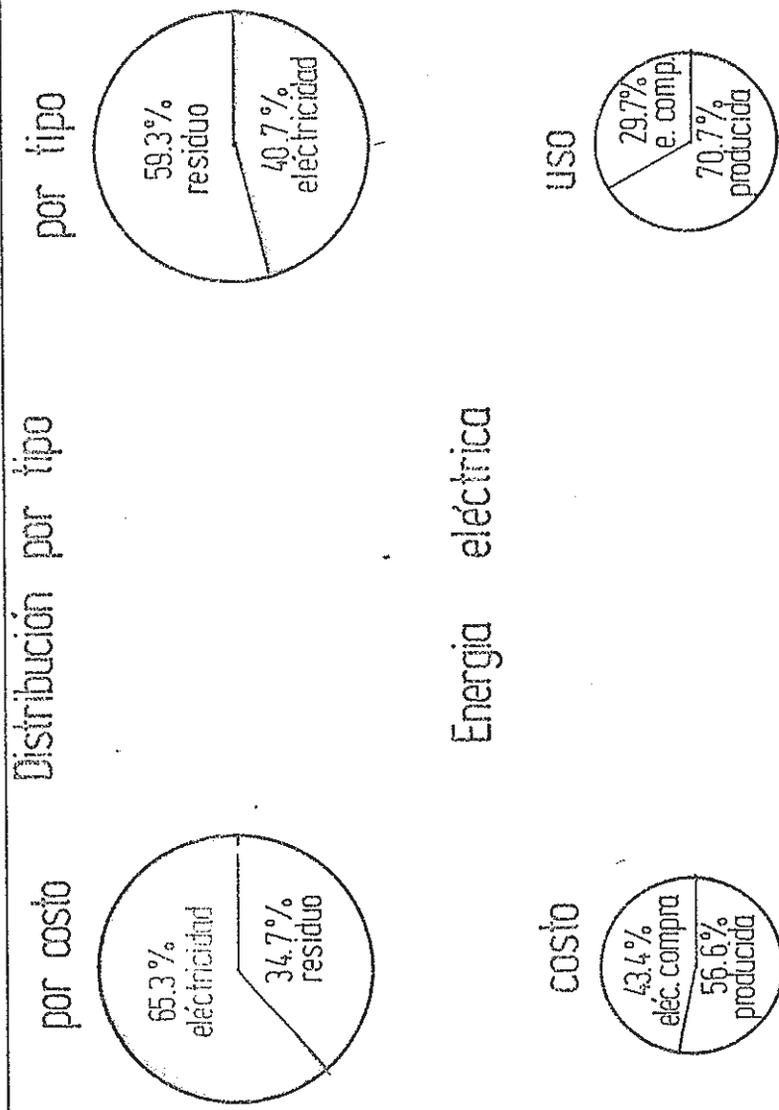


Fig. 14 Distribución de energía en industria de papel

FUENTE: Datos tomados del reporte mensual del consumo de energía de la fábrica de papel, noviembre de 1984.

## APENDICE B

### PRUEBAS DE COMBUSTION EN CALDERO

#### CALDERO N° 2

CARGA	BAJA (QUEMADOR)	BAJA (2 QUEMADORES)
PORCENTAJE CO <sub>2</sub>	9.6	7.4
PORCENTAJE O <sub>2</sub>	8	12
N° DE HUMO	5	8
TEMPERATURA DE GASES °F/°C	375/190	505/262
TEMPERATURA DEL AIRE °F/°C	100/38	85/30
TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION °F/°C	219/104	218/103
PERDIDAS EN GASES DE COMBUSTION	14.6 o/o	22.3 o/o
EFICIENCIA DE COMBUSTION	85.4 o/o	77.7 o/o

NOTA: El caldero trabajaba con dos quemadores prendidos pero para efectos de las pruebas se solicitó al operador trabajar con un sólo quemador totalmente abierto. Por lo tanto la eficiencia de combustión a considerarse en los cálculos será la del 77.7 o/o.

## APENDICE C

### ESTIMACION DE PURGAS Y ANALISIS DE AGUA

<u>STD NIVELES MEDIDOS</u>	ppm
AGUA DE REPOSICION ANTES DEL DESMINERALIZADOR	380
AGUA DE CONDENSADO	0
AGUA DE ALIMENTACION AL ENTRAR AL TANQUE	10
AGUA DE ALIMENTACION	5
AGUA DE REPOSICION DESPUES DEL DESMINERALIZADOR	0

Al entrar al tanque de agua de alimentación:

$$380 X + 0 (1 - X) = 10$$

$$X = 2.6 \text{ o/o} \quad (\text{mezcla de condensado y agua de reposición})$$

$$(1-X) = 97.4 \text{ o/o} \quad (\text{condensado desde proceso})$$

Dentro del tanque de alimentación:

$$10 X + 0 (1-X) = 5$$

$$X = 50 \text{ o/o}$$

$$(1-X) = 50 \text{ o/o} \quad \text{Agua de Reposición}$$

Por lo tanto: el agua de Alimentación está compuesta de:

50 o/o Agua de Reposición

50 o/o Agua de Condensado

## CALCULO DE PURGAS

AGUA DE PURGAS STD	1650 ppm (A)
AGUA DE ALIMENTACION	5 ppm (B)
PORCENTAJE DE AGUA DE REPOSICION	50 o/o (C)

## PROPORCION DE PURGAS:

$$\frac{B \times C}{A - B}$$

$$= \frac{(5 \times 0.5)}{1650 - 5} = 0.00152 \text{ KgPURGA/Kg VAPOR}$$

$$\text{o/o PERDIDA EN PURGAS} = \frac{\text{Calor contenido en purgas}}{\text{Calor necesario para generar vapor}}$$

ANALISIS DE AGUA Y ESTIMACION DE PURGAS

## DATOS:

Temp. de agua alimentación	218°F/104°C
Presión del caldero	180 PSI(12 BAR)
Temperatura de vapor recalentado	500°F/260°C
Agua de reposición a 82°F /28°C	116.6 KJ/Kg.
Eficiencia de combustión	77.7 o/o
Combustible que entra al caldero	20649GJ/mes
Contenido de calor vapor a 12 BAR y 500°F	2946.96 KJ/Kg.
Contenido de calor agua de alimentación	434.5 KJ/Kg.
Contenido de calor agua a 12 BAR	802.7 KJ/Kg.
Calor añadido al agua de alimentación dentro del caldero =	2946.06 - 434.5 2512.46 KJ/Kg.

Estimando la generación de vapor por Mes tenemos:

$$= \frac{\text{Combustible que entra al caldero} \times \text{Efic. Combustión}}{\text{Calor requerido para elevar 1 Kg. de vapor}}$$

$$= \frac{(20649) (0.7777) \times 10^6}{2512.46} = 6'391.635 \text{ KG VAPOR/MES}$$

$$\text{PURGAS} = (0.00152 \text{ KG PURGA/KG VAPOR}) (6'391635 \frac{\text{KG VAPOR}}{\text{MES}})$$

$$= 9715.29 \text{ KG PURGA/MES}$$

$$\text{CALOR CONTENIDO EN PURGAS} = 802.7 - 116.6$$

$$= 686.1 \text{ KJ/Kg.}$$

$$\text{PORCENTAJE PERDIDA EN PURGAS} = \frac{(686.1) (9715.24) \cdot 100}{20649 \times 10^6}$$

$$= 0.0323 \text{ o/o}$$

## APENDICE D

### EFICIENCIA DEL CALDERO

Estimación de pérdidas por radiación

Pérdidas por radiación 1.5 o/o

Promedios de carga del caldero = 350/o

Pérdidas por radiación  $1.5/0.35 = 4.29$  o/o (Figura N° 6)

### EFICIENCIA NETA DEL CALDERO

	100 o/o
APENDICE B menos	22.3 o/o (pérdida por combustión)
APENDICE C menos	0.03230/o (pérdida por purgas)
menos	<u>4.29 o/o (pérdida por radiación)</u>
	<u>73.370/o</u> =====

## APENDICE E

### MEJORAS EN LA UTILIZACION DEL VAPOR

#### DATOS:

PORCENTAJE DE AGUA DE REPOSICION USADA	50 %
NIVEL DE STD DE AGUA DE ALIMENTACION	5 p.p.m.
CONSUMO EQUIVALENTE DE COMBUSTIBLE	20649 GJ/MES
EFICIENCIA DEL CALDERO	73.37 %
PERDIDAS POR RADIACION	4.29 %
HORAS DE OPERACION	720 HORAS/MES
CALOR CONTENIDO EN AGUA ALIMENTACION	434.5 KJ/KG
CALOR CONTENIDO EN VAPOR A 12 BAR Y RECALENTADO	500°F/260°C = 2946.96 KJ/KG.
CAPACIDAD DE OPERACION DEL CALDERO	1.700 Hp

### CONSIDERACIONES

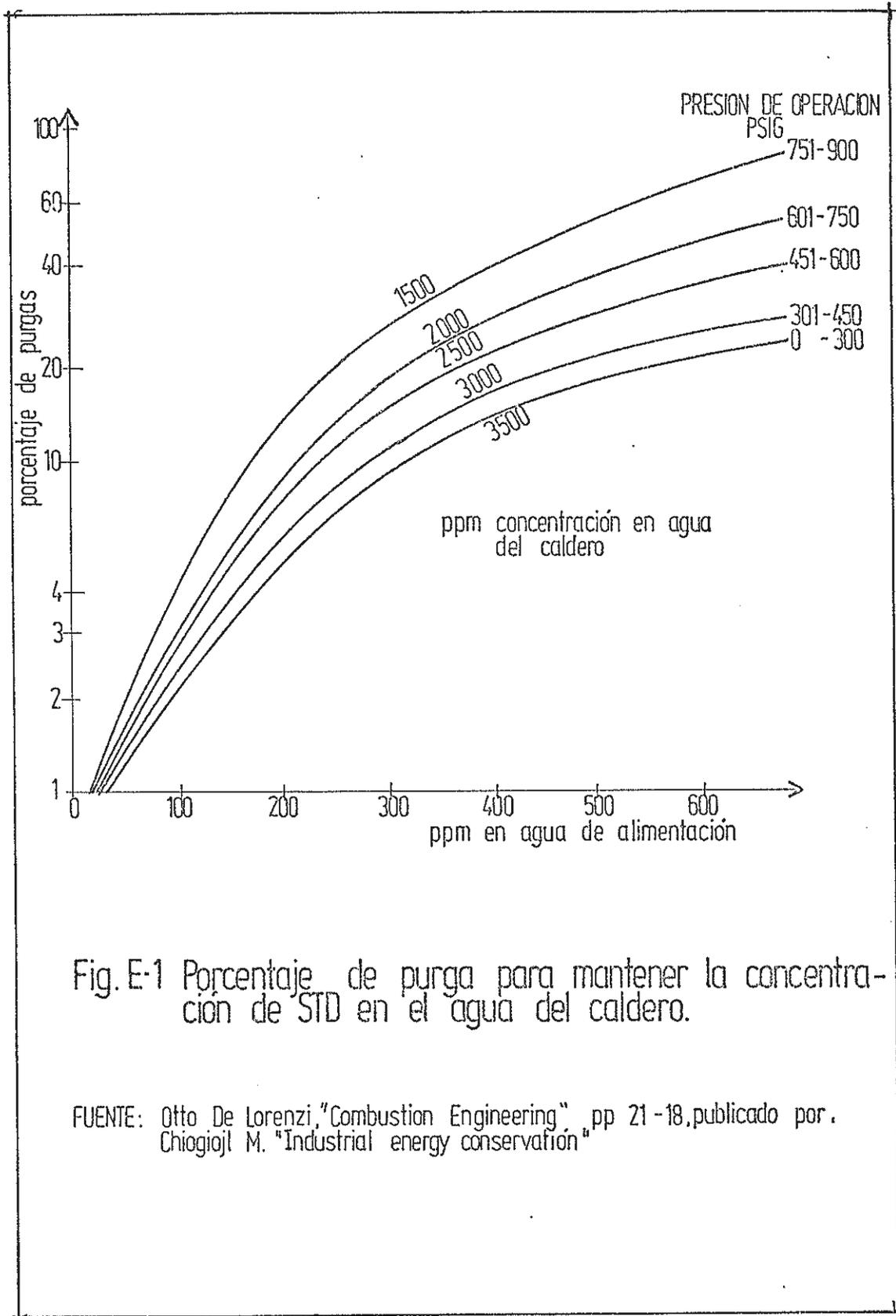
STD del caldero puede llegar a 3.500 p.p.m. en calderos que operan hasta 300 psig (Ver figura N° E-1).

### CALCULOS

ENERGIA AHORRADA:

$$= \frac{(\% \text{ AGUA DE REPOSICION}) (\text{STD AGUA} - \text{ALIMENTACION})}{(\text{STD PURGAS} - \text{STD AGUA DE ALIMENTACION})}$$

- 0.0715 %



VAPOR GENERADO MENSUAL

$$= \frac{(1 - \text{o/o purgas}) (\text{Combustible que entra al caldero}) (\text{Efic. Caldero}) 10^6}{\text{Calor requerido para generado 1 KG de vapor}}$$

$$= \frac{(1 - 0.000715) (30649) (0.7337) 10^6}{(2946.96 - 434.5)}$$

$$= 6'024.980 \text{ KG VAPOR/MES}$$

CARGA DE VAPOR PROMEDIO

$$= \frac{\text{Producción Mensual de vapor}}{\text{Horas de operación mensual}}$$

$$= \frac{6'024.980}{720}$$

$$= 8368. \text{Kg. VAPOR/HORA} = 710 \text{ HP}$$

La utilización de un caldero de menor capacidad se recomienda, el mismo que trabajaría en el caso de la fábrica, considerando que tienen 2 calderos de 1.000 HP c/u al 71 o/o de su carga.

PERDIDAS POR RADIACION DESPUES DEL CAMBIO

$$\text{Caldero trabajando al 71 o/o} = 1.5/0.71 = 2.11 \text{ o/o}$$

Ahorro debido a la reducción de las pérdidas por radiación:

$$4.29 - 2.11 = 2.18 \text{ o/o}$$

Ahorro mensual de combustible:

$$(0.0218) (20649) = 450 \text{ GJ/MES}$$

AHORRO

$$= \text{GJ/MES) (SUCRES/GJ)}$$

$$= (450) (85.30) = \text{S/} .38.385/\text{MES} = \text{S/} .460.620/\text{AÑO}$$

COSTO DE LA IMPLEMENTACION

Este cambio no representa ningún costo adicional, por lo tanto:

ENERGIA AHORRADA: 450 GJ/MES

AHORRO: 38.385/MES

COSTO DE IMPLEMENTACION:

PERIODO DE REPAGO INMEDIATA

## APENDICE F

### REGULADOR DE BAJO NIVEL DE OXIGENO PARA CALDERAS DE VAPOR

#### CONSIDERACIONES

El control de la relación aire/combustible del caldero mejorará la eficiencia en un 2.8 o/o. (Ver página siguiente).

#### DATOS

Eficiencia del caldero = 73.37 o/o

COMBUSTIBLE USADO EN EL CALDERO 20649 GJ/MES

#### CALCULOS

Energía Ahorrada

$$= \frac{(\text{nueva eficiencia} - \text{eficiencia anterior})}{\text{Nueva eficiencia}} \times (\text{Combustible usado})$$

$$= \frac{0.7617 - 0.7337}{0.7617} \times 20649$$

$$= 759 \text{ GJ/MES}$$

#### AHORRO

(GJ/MES) (SUCRES/GJ)

$$= (759) (85.30)$$

$$= S/.64.743/MES = S/.776,916/AÑO$$

#### COSTO DE LA IMPLEMENTACION

El costo de esta medida es estimado en S/.1'200.000,00 que es el costo equivalente de un regulador de oxígeno.

#### PERIODO DE REPAGO SIMPLE

$$= \frac{\text{Costo de la implementación}}{\text{AHORRO ANUAL}}$$

$$= 1.5 \text{ años (Ver ANALISIS ECONOMICO).}$$

$$\text{ENERGIA AHORRADA} = 759 \text{ GJ/MES}$$

$$\text{AHORRO MENSUAL} = S/. 64.743$$

$$\text{COSTO DE LA IMPLEMENTACION} = S/. 1'200.000,00$$

$$\text{PERIODO DE REPAGO} = 1.5 \text{ AÑOS}$$

AUMENTO DE LA EFICIENCIA DEL CALDERO AL DISMINUIR EL EXCESO DE AIRE

Por los porcentajes de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> obtenido en el análisis de gases de combustión en el caldero y llevándolos al diagrama

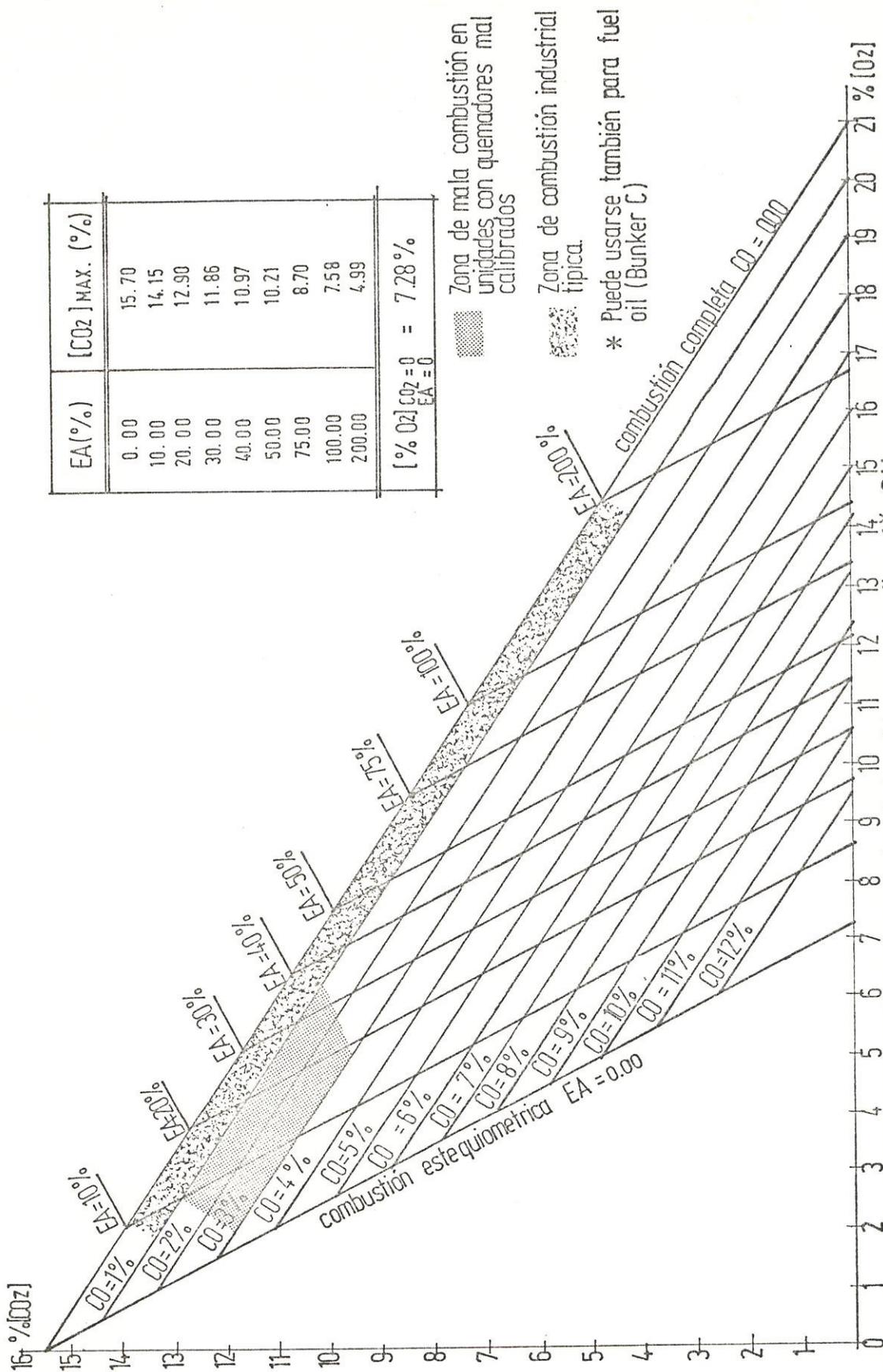
de Ostwald encontramos que está trabajando con un exceso de aire del 100 o/o.

Si se reduce este porcentaje, para obtener una relación aire/combustible mejor, se produce un incremento en la eficiencia de combustión del caldero, este incremento es del orden del 5.6 o/o pero considerando la confiabilidad del mismo en un cincuenta por ciento, diríamos que se puede incrementar la eficiencia en un 2.8 o/o.

Podemos observar la figura N° F-1 el Diagrama de Ostwald, y la tabla F-1, la Variación de la eficiencia de combustión al variar el exceso de aire.

#### ANALISIS ECONOMICO CONSIDERANDO EL VALOR DEL DINERO A TRAVES DEL TIEMPO

Otro método de análisis para justificar una inversión es la tasa interna de retorno; pero como, através del repago simple se obtuvo 1,5 años, como tiempo de recuperación consecuentemente, este período de tiempo es un índice que no justifica el empleo de este método de Análisis en períodos muy cortos, ya que normalmente se usan para períodos mayores a cinco años.



EA (%)	[CO <sub>2</sub> ] MAX. (%)
0.00	15.70
10.00	14.15
20.00	12.90
30.00	11.86
40.00	10.97
50.00	10.21
75.00	8.70
100.00	7.58
200.00	4.99

[% O<sub>2</sub>] CO<sub>2</sub> = 0  
EA = 0 = 7.28%

Fig. F-1 Diagrama de Ostwald para diesel\* CH1.73

TABLA F-1

VARIACION DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTION AL VARIAR EL EXCESO DE AIRE  
 Temperatura de los gases°C

%	93	121	149	177	204	232	260	288	316	343
5.	89.8	88.7	87.6	86.5	85.5	84.4	83.3	82.2	81.2	80.1
10.	89.6	88.5	87.3	86.2	85.1	84.0	82.9	81.7	80.6	79.5
15.	89.4	88.2	87.1	85.9	84.7	83.6	82.4	81.2	80.1	78.9
20.	89.2	88.0	86.8	85.6	84.4	83.2	81.9	80.7	79.5	78.3
25.	89.0	87.8	86.5	85.3	84.0	82.8	81.5	80.2	79.0	77.7
30.	88.9	87.6	86.3	85.0	83.6	82.3	81.0	79.7	78.4	77.1
35.	88.7	87.3	86.0	84.6	83.3	81.9	80.6	79.2	77.9	76.5
40.	88.5	87.1	85.7	84.3	82.9	81.5	80.1	78.7	77.4	76.0
45.	88.3	86.9	85.4	84.0	82.6	81.1	79.7	78.2	76.8	75.4
50.	88.1	86.7	85.2	83.7	82.2	80.7	79.2	77.8	76.3	74.8
55.	88.0	86.4	84.9	83.4	81.8	80.3	78.8	77.3	75.7	74.2
60.	87.8	86.2	84.6	83.1	81.5	79.9	78.3	76.8	75.2	73.6
65.	87.6	86.0	84.4	82.7	81.1	79.5	77.9	76.3	74.6	73.0
70.	87.4	85.7	84.1	82.4	80.8	79.1	77.4	75.8	74.1	72.4
75.	87.2	85.5	83.8	82.1	80.4	78.7	77.0	75.3	73.6	71.8
80.	87.0	85.3	83.5	81.8	80.0	78.3	76.5	74.8	73.0	71.3
85.	86.9	85.1	83.3	81.5	79.7	77.9	76.1	74.3	72.5	70.7
90.	86.7	84.8	83.0	81.2	79.3	77.5	75.6	73.8	71.9	70.1
95.	86.5	84.6	82.7	80.8	78.9	77.1	75.2	73.3	71.4	69.5
100.	86.3	84.4	82.5	80.5	78.6	76.6	74.7	72.8	70.8	68.9

NOTA: Puede usarse para calcular ahorros desde cambios en la eficiencia para combustibles bajo contenido de azufre (S). Basado en el poder calorífico alto y pérdidas totales en los gases de combustión.

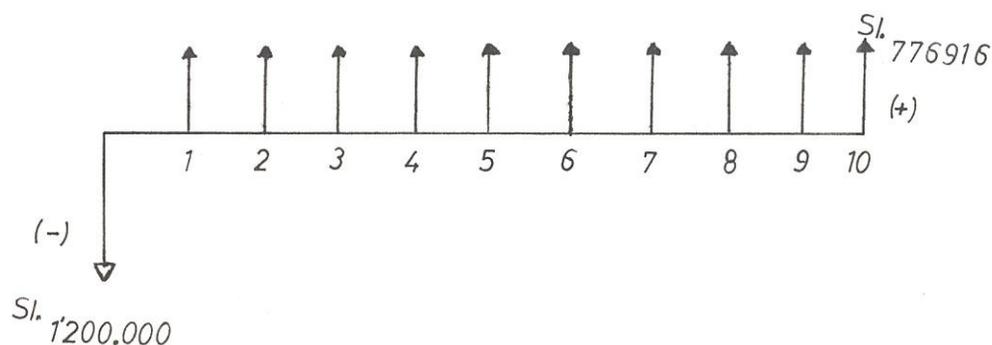
Fuente: Ref.(6) pp.5.40.

Vamos a realizar la equivalencia de dos alternativas, considerando un período de 10 años, que se asume como vida útil del Regulador de oxígeno.

#### ALTERNATIVA A:

Se invierte S/1'200.000 en la compra del regulador y se recibe por concepto de ahorro de energía la cantidad de S/.776.916.

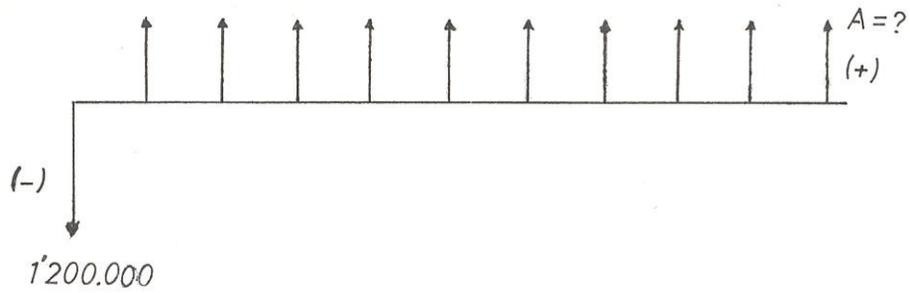
El diagrama de flujo de esta alternativa es:



#### ALTERNATIVA B:

Considerando como tasa atractiva de interés anual el 30 o/o, se busca la anualidad que una inversión de 1'200.000 produciría. El Diagrama de Flujo de esta alternativa es:

$A = P$  (Factor de recuperación de capital).



$$A = P (A/P, i, n)$$

$$A = P \left( \frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$\begin{aligned} A &= 1'200.000 (A/P, 30 \text{ o/o}, 10) = 1'200.000 (0,32346) \\ &= S/. 388.152,00 \end{aligned}$$

De esta forma la alternativa A es más atractiva.

## APENDICE G

### AISLAMIENTO DE TUBERIAS DE VAPOR

#### CONSIDERACIONES

Reducción de las pérdidas de calor en tuberías de va  
por sin aislante 90 ó/o.

Reducción de las pérdidas de calor en tuberías de vapor  
con aislante en mal estado 70 o/o.

#### DATOS

Horas de operación del caldero:

720 horas/MES

Eficiencia del Caldero:

73.37 o/o

A continuación encontraremos el detalle de tuberías sin aisla-  
miento y el detalle de tuberías con aislante deteriorado.

## DETALLE DE TUBERIAS SIN AISLAMIENTO

LOCALIZACION	LONG(m)	DIAMETRO (mm)	TEMP. TUBERIA °C	COEFICIENTE PERDIDA DE CALOR* KJ/m/hr
Subterránea Línea 150 psi	1	203	260	13486
Línea de 150 psi	7	152	246	9475
Subterránea línea de 50 psi	6	152	140	3389
Línea de 50 psi	2	152	142	3596
Pulper máq. PM2	58	127	208	6086
-	2	76	269	6294
Pulper 2	13	127	140	2904
A los tanques de goma	15	19	250	1764
-	36	38	195	1936

\*Ver Apéndice M.

## DETALLE DE TUBERIAS CON AISLANTE DETERIORADO

LOCALIZACION	LONG(m)	DIAMETRO (mm)	TEMPERATURA SUPERFICIE °C	COEFICIENTE PERDIDA* DE CALOR KJ/m/hr
Caldero 2	29	152	60	830
Subterránea Línea 150 psi	30	76	107	1210
Pulper maq. PM <sub>2</sub>	13	76	62	484

\* Ver Apéndice M

CALCULOS

Energía ahorrada en tuberías sin aislar.

$$= \frac{(\text{coeficiente de pérdida de calor}) (\text{longitud})(\text{hora/mes})0.90}{\text{Eficiencia del caldero } 10^6}$$

$$= \frac{(720) \times (0.90)}{(0.7337) \times 10^6} \{ (13486)(1) + (9475)(7) + (3389)(6) + (3596)(2) +$$

$$(6086)(58) + (6294)(2) + (2904)(13) + (1764)(15) + (1936)(36) \}$$

$$= 530 \text{ GJ/MES}$$

ENERGIA AHORRADA EN TUBERIAS CON AISLANTE DETERIORADO

$$= \frac{(\text{Coeficiente de pérdida de calor})(\text{horas/mes})(0.70)}{(\text{Eficiencia del caldero}) \times 10^6}$$

$$= \frac{(720) \times (0.70)}{(0.7337) \times 10^6} \{ (830)(29) + (1210)(30) + (484)(13) \}$$

$$= 46 \text{ GJ/MES}$$

AHORRO TOTAL

$$= 576 \text{ GJ/MES}$$

AHORRO

(GJ/MES(SUCRES/GJ)

= (576)(85.30)

= 49.133/MES = S/. 589.596/AÑO

COSTO DE LA IMPLEMENTACION

El costo de la implementación es estimado como sigue:

DIAMETRO DE TUBERIA	LONGITUD RE QUERIDA	COSTO* UNITARIO	COSTO TOTAL
		S/.	S/.
203 mm.	1 m.	2850 c/m	2850
152 mm.	44 m.	2638 c/m	116072
127 mm.	71 m.	2638 c/m	187298
76 mm.	45 m.	1517 c/m	68265
19 mm.	15 m.	1250 c/m	18750
		S/.393.235,00	

PERIODO DE REPAGO=  $\frac{\text{Costo de la Implementación}}{\text{Ahorro anual}}$ 

\*Este costo incluye costo del material e instalación.

$$\frac{393.235}{589.396} = \underline{0.7} \text{ Años}$$

ENERGIA AHORRADA	576 GJ/MES
AHORRO MENSUAL	S/. 49.133
COSTO DE LA IMPLEMENTACION	S/. 393.235
PERIODO DE REPAGO	0.7 años

## APENDICE H

### AISLAMIENTO DE TUBERIAS Y TANQUES DE CONDENSADO

#### CONSIDERACIONES

Reducción en pérdidas de calor de tuberías sin aislante 90 o/o.

#### DATOS

Horas de operación de calderos = 720 horas/mes.

Eficiencia del caldero : 73.37 o/o

En la siguiente página veremos el detalle de tuberías y tanques de condensado sin aislante.

DETALLE DE TUBERIAS Y TANQUES DE CONDENSADO SIN AISLANTE

LOCALIZACION	LONG(m)	DIAMETRO (mm)	TEMP. SUPERF. °C	COEFICIENTE DE PERDIDA DE CALOR KJ/m/hr
PM1 a Planta Fuerza	150 m.	63.5	89°C	761
De tanque con condensado a Planta fuerza	100 m.	63.5	87°C	726
Tanque de condensado PM1	1mx0.50 m.	-	90°C	*
Tanque condensado Flash-Steam	1.30x0.80	-	150°C	*
Tanque de condensado PM2	0.80x0.60	-	125°C	*

\*Se hace el cálculo en base a la transferencia de calor por convección libre desde cilindros verticales.

## CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION LIBRE DESDE CILINDROS VERTICALES

En la figura H-1, se muestra una relación para convección libre desde placas verticales y cilindros verticales. La ordenada es  $\frac{hc L}{K}$  o número de Nusselt promedio basado en la altura L del cuerpo y la abscisa es el producto de Gr y Pr es decir:

$$Gr Pr = c_p \rho^2 \beta g \Delta T L^3 / \mu K$$

de esta figura y considerando flujo laminar tenemos:

$$Nu = 0,555 (Gr Pr)^{1/4}$$

$$Nu = \frac{hc L}{K}$$

### 1. TANQUE DE CONDENSADO PML

$$T_{AIRE} = 86^{\circ}F$$

$$k = 0,0151 \frac{BTU}{hr \text{ pie}^{\circ}F}$$

$$T_{Superficie} = 194^{\circ}F$$

$$\text{Para } T_{Aire} = 86^{\circ}F.$$

$$\Delta T = 3.281 \text{ pie (Altura del tanque = 1 metro)}$$

$$Gr = \Delta T L^3 \frac{(\rho^2 g \beta)}{\mu^2} = 108^{\circ}F \cdot (3.281)^3 \text{ pie}^3 \cdot 1.99 \times 10^6 \frac{1}{^{\circ}F \text{ pie}^3}$$

$$Gr = 7.6 \times 10^9$$

$$Pr = 0.72$$

$$Gr Pr = 5.5 \times 10^9$$

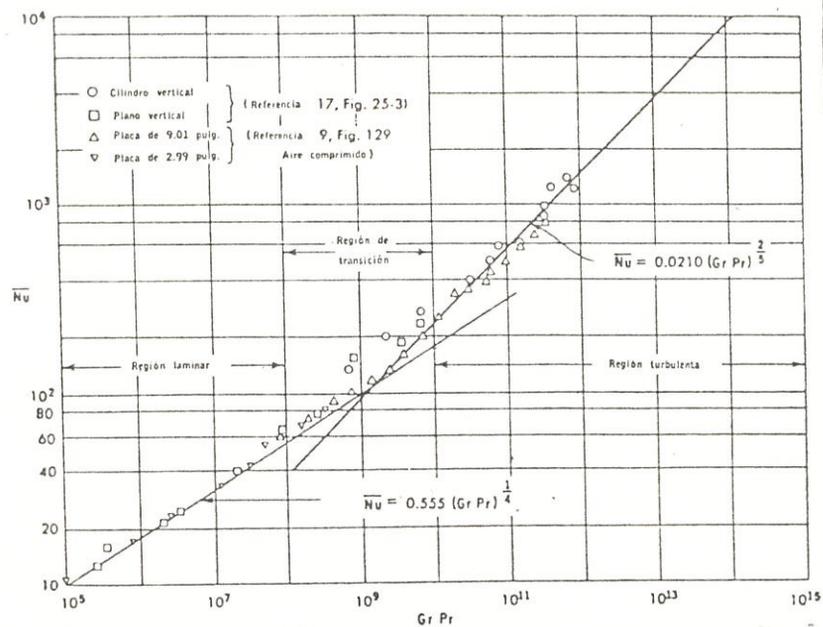


FIGURA N<sup>o</sup> H-1. CORRELACION DE DATOS PARA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION LIBRE DESDE PLACAS Y CILINDROS VERTICALES.

Fuente: Kreith F. "Principios de Transferencia de Calor" (Herrero Hermanos Sucesores S.A.) Mexico, 1970 pp. 360. (ref. 9 )

$$Nu = 150.90$$

$$hc = 150.9 \times \frac{0.0151}{3.281} = 0.6945 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$Q = 0.6945 \times 108 = 75 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ hr}} = 815.25 \text{ KJ/m}^2 \text{ - hr.}$$

## 2. TANQUE FLASH STEAM

$$T. \text{ Aire} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$K = 0.0154 \frac{\text{BTU}}{\text{hr - pie } ^\circ\text{F}}$$

$$T. \text{ Superficie} = 302 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 202 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$L = 4.265 \text{ pie (Altura del Tanque = 1.3 metros)}$$

$$Gr = \Delta T L^3 \left( \frac{\rho^2 g \beta}{\mu} \right) = 202^\circ\text{F} (4.265)^3 \text{ pie}^3 \cdot 1.76 \times 10^6 \frac{1}{^\circ\text{F pie}^3}$$

$$Gr = 2.76 \times 10^{10}$$

$$Pr = 0.72$$

$$Gr Pr = 1.99 \times 10^{10}$$

$$Nu = 208.34$$

$$hc = 208.34 \times \frac{0.0154}{4.265} = 0.7523 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$Q = 0.7523 \times 202 = 152 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ - hr}} = 1.724,73 \text{ KJ / m}^2 \text{ - hr}$$

## 3. TANQUE DE CONDENSADO PM<sup>2</sup>

$$T \text{ Aire} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$K = 0,0154 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie } ^\circ\text{F}}$$

$$T \text{ Superficie} = 260^\circ\text{F}$$

$$\text{Para } T \text{ Aire} = 100^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 160^\circ\text{F}$$

$$L = 2.625 \text{ pie (Altura del Tanque = 0,80 metros)}$$

$$Gr = \frac{\Delta T L^3 (P^2 g B)}{u^2} = 160^\circ F (2.625)^3 \text{pie}^3 \cdot 1.76 \times 10^6 \frac{1}{^\circ F \text{pie}^3}$$

$$Gr = 5.1 \times 10^9$$

$$Pr = 0.72$$

$$Gr Pr = 3.7 \times 10^9$$

$$Nu = 136.58$$

$$h_c = 136.58 \times \frac{0.0154}{2.625} = 0.8013 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr pie}^2 \text{ } ^\circ F}$$

$$Q = 0.8013 \times 160 = 128.20 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ } \text{Hr}} = 1.455.11 \text{ KJ/m}^2 \text{ } \text{Hr.}$$

$$\begin{aligned} \text{AREA DE LOS TANQUES} &= \pi D L + 2 \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \\ &= \pi D \left\{ L + \frac{D}{2} \right\} \end{aligned}$$

	AREA (m <sup>2</sup> )
Tanque de Condesado PM1	1.96
Tanque de Flash - Steam	4.27
Tanque de Condesado PM2.	2.07

#### ENERGIA AHORRADA

$$= \frac{(\text{Coeficiente pérdida de calor}) (\text{longitud}) (\text{Hora/mes}) 0.90}{\text{Eficiencia del CALDERO} \times 10^6}$$

$$= \frac{(761) (150) (720) 0.90}{0.7377 \times 10^6} = 101 \text{ GJ / mes}$$

$$= \frac{(726) (100) (720) 0.90}{0.7337 \times 10^6} = 64 \text{ GJ / mes.}$$

$$= \frac{(815.25) (1.96) (720) 0.90}{0.7337 \times 10^6} = 1.4 \text{ GJ / mes}$$

$$= \frac{(1.724.73) (4.27) (720) 0.90}{0.7337 \times 10^6} = 6.5 \text{ GJ / mes}$$

$$= \frac{(1.455.11) (2.07) (720) 0.90}{0.7337 \times 10^6} = 2.7 \text{ GJ / mes}$$

ENERGIA TOTAL AHORRADA

$$= 176.0 \text{ GJ / mes.}$$

AHORRO

$$= (\text{GJ / mes}) (\text{Suces / GJ})$$

$$= (176) (85.30)$$

$$= \text{S/. } 15.013 \text{ / mes} \quad \text{S/. } 180.156 \text{ / año}$$

En la página siguiente encontramos la tabla de Costo de la Im  
plementación.

COSTO DE LA IMPLEMENTACION

El Costo de la Implementación es estimado como sigue:

DIAMETRO TUBERIA	LONG (m)	COSTO UNIT. * S/. m.	COSTO TOTAL SUCRES
63.5 mm	250	1.319	329750
Tanque Condesado PM. 1	1.96 m <sup>2</sup>	1.300 c/m <sup>2</sup>	2548
Tanque Flash Steam	4.27 m <sup>2</sup>	1.300 c/m <sup>2</sup>	5551
Tanque Condesado PM. 2	2.07 m <sup>2</sup>	1.300 c/m <sup>2</sup>	2691
			<u>2691</u>
			<u>S/340540</u>

\*Este costo incluye costo de material e instalación.

PERIODO DE REPAGO

$$= \frac{\text{Costo de la Implementación}}{\text{Ahorro anual}}$$

$$= \frac{340.540}{180.156} = 1.9 \text{ AÑOS (Ver Análisis Económico)}$$

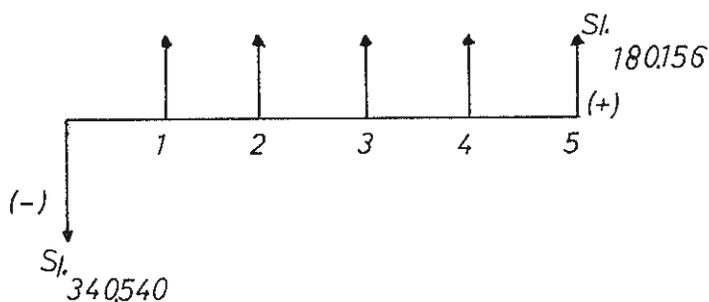
ENERGIA AHORRADA =	176 GJ / mes
AHORRO MENSUAL =	S/. 15.013
COSTO DE LA IMPLEMENTACION=	S/.340.540
PERIODO DE REPAGO =	1.9 AÑOS

ANALISIS ECONOMICO

Para el caso del aislamiento, se asume como vida útil cinco años.

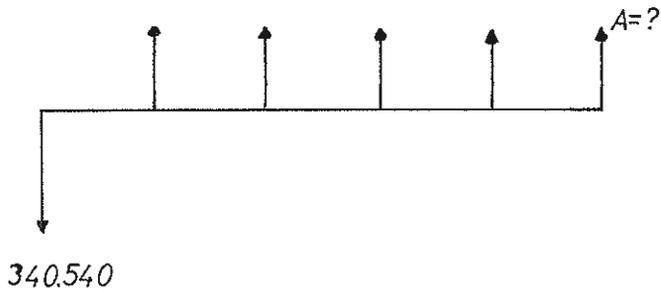
ALTERNATIVA A:

Se invierte S/.340.540,00 en el aislamiento y se recibe por concepto de ahorro por pérdidas de calor la cantidad de S/.180.156,00. El Diagrama de Flujo de esta alternativa es:



## ALTERNATIVA B

Considerando como tasa atractiva de interés anual el 30 o/o , se busca la anualidad que una inversión de 340.540,00su cres, produciría. El diagrama de esta alternativa es:



$$A = P(A/P, i, n)$$

$$A = 340.540 (A/P, 30 \text{ o/o}, 5)$$

$$A = 340.540 (0,41058) = 139.818,91$$

$$A = 139.818,91$$

Por lo tanto la alternativa A es la más atractiva.

## APENDICE I

### REPARACION DE FUGAS DE VAPOR

DATOS	PRESION	VAPOR SATURADO KJ/KG	VAPOR RECALENTADO A 260°C KJ/ KG
Eficiencia de calor a contenido	12 BAR	2775.4	2946.96
	10 BAR	2768.8	2969.12
	7 BAR	2754.9	2979.60

Eficiencia del Caldero = 73.37%  
 Horas de Operación = 720 Horas /mes  
 Factor de Carga = 1

NUMERO DE FUGAS	LOCALIZACION	PRESION BAR	DIAMETRO (mm)	VAPOR PERDIDO KG/HORA
1	Caldero - 2	12	5	130
2	Caldero - 2 (válvula)	12	2	20.8
3	Pulper 3	10	2	17.6
4	PM2	10	2	17.6
5	Cerca del Tanque de Almacenamiento Pasta	10	3	39.6
6	Pulper - 2	7	3	28.8

El cálculo siguiente está realizado en base a que el vapor que es capa sea saturado o Recalentado.

VAPOR SATURADO

Energía Ahorrada

$$= \frac{(\text{pérdida de Vapor}) (\text{Horas/mes}) (\text{contenido de calor}) (\text{factor de Carga})}{(\text{Eficiencia del Caldero}) \times 10^6}$$

12 BAR

$$= \frac{(130 + 20.8) \quad (720) \quad (2775.4) \quad (1)}{(0.7337) \times 10^6}$$

$$= 411 \text{ GJ/mes}$$

10 BAR

$$= \frac{(17.6 + 17.6 + 39.6) \quad (2768.8) \quad (720) \quad (1)}{0.7337 \times 10^6}$$

$$= 205 \text{ GJ/ mes}$$

7 BAR

$$= \frac{(28.8) \quad (2754.9) \quad (720) \quad (1)}{(0.7337) (10^6)}$$

$$= 78 \text{ GJ/ mes}$$

ENERGIA TOTAL AHORRADA

$$= 692 \text{ GJ/MES}$$

#### AHORRO

$$= (\text{GJ/MES}) \quad (\text{SUCRES/GJ})$$

$$= \text{S/} . 59.028 / \text{mes} \qquad \text{S/} . 708.336/\text{AÑO}$$

#### COSTO DE LA IMPLEMENTACION

El costo de reparación de fugas de VAPOR puede asumirse de .....  
S/. 50.000,00 considerando el valor de la mano de obra y el costo de los materiales a usarse en la reparaciones.

#### PERIODO DE REPAGO

$$= \frac{\text{Costo de la Implementación}}{\text{Ahorro Anual}}$$

$$= \frac{50.000}{708336} = 0.1 \text{ AÑO}$$

#### VAPOR RECALENTADO

12 BAR

$$= (130 + 20.8) \frac{(2.946.96) (720) (1)}{0.7337 \times 10^6}$$

$$= 436. \text{GJ} / \text{MES}$$

10 BAR

$$= (17.6 + 17.6 + 39.6) \frac{(2969.12) (720) (1)}{0.7337 \times 10^6}$$

$$= 218 \text{ GJ/MES}$$

7 BAR

$$= \frac{(28.8) (2979.6) (720) (1)}{0.7337 \times 10^6}$$

$$= 84.6 \text{ GJ/MES}$$

ENERGIA TOTAL AHORRADA

$$= 738.6 \text{ GJ/MES}$$

AHORRO

$$= (\text{GJ/MES}) \quad (\text{SUCRES/GJ})$$

$$= \text{S/. } 62.951/\text{MES} \quad \text{S/. } 755.412/\text{AÑO}$$

COSTO DE LA IMPLEMENTACION

$$\text{S/. } 50.000,00$$

PERIODO DE REPAGO

$$= \frac{\text{Costo de la Implementación}}{\text{Ahorro Anual}}$$

$$= \frac{50.000}{755.412} = 0.1 \text{ AÑOS}$$

ENERGIA AHORRADA =	7386J/ MES
AHORRO MENSUAL =	S/. 62.951
COSTO DE LA IMPLEMENTACION=	S/. 50.000
PERIODO DE REPAGO=	0.1 AÑOS

## APENDICE J

### MEJORAS EN LA RECUPERACION DEL CONDENSADO

#### DATOS

Horas de operación del caldero = 720 Horas/mes

Eficiencia del Caldero = 73,37 %

#### CALOR REQUERIDO PARA ELEVAR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE REPOSICION A LA TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION

Temperatura agua de Reposición 82°F/ 28°C

Calor contenido en el agua de Reposición 116.6. K 5/Kg

Temperatura agua de alimentación 218°F/104°C.

Calor contenido en el agua de alimentación 434.5 KJ/KG

$$434.5 - 116.6 = 317.9 \text{ KJ/Kg}$$

Contenido de		Generacion aproximada
calor del vapor		de vapor
producido	= $2946.96 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$	8368 Kg $\frac{\text{Vapor}}{\text{Hora}}$

Contenido de	-	
calor en agua de		
Reposición	= $\frac{116.6 \text{ KJ}}{2830.36 \text{ Kg}}$	

En la figura N°8, se encuentra el calor remanente dentro del con  
densado. estimado para determinadas condiciones de presión del con  
densado. En este caso sería del 17 %, entonces

El calor recuperado en el condensado es:

$$\frac{(17/100) \times (2830.36 \text{ KJ/KG}) (8.368 \text{ KG/Hora}) \times 720}{0.7337 \times 10^6}$$

$$= 3952 \text{ GJ/MES}$$

Pero como el condensado se recupera en un 50 % (APENDICE C) y con  
siderando pérdidas de condensado, por el uso de vapor vivo en el  
 proceso, y por fugas del orden del 15% tendremos que la energía a  
horrada por mejorar el sistema de recuperación del condensado es:

ENERGIA AHORRADA

$$= (0.35) (3952)$$

$$= 1.383 \text{ GJ/MES}$$

AHORRO

$$= (\text{GJ/MES}) (\text{SUCRES/GJ})$$

$$= (1383) (85.30) = \text{S/. } 117970/\text{MES} \quad \text{S/. } 1'415640/\text{AÑO}$$

## COSTO DE LA IMPLEMENTACION

El costo de la implementación requiere de un estudio más profundo con el fin de considerar longitud de tuberías a usarse, necesidad de bombas o trampas de vapor en la línea.

Por lo tanto en base a datos a referencia podría considerarse que este costo es aproximadamente S/. 230.000,00

## PERIODO DE REPAGO

$$= \frac{\text{Costo de la Implementación}}{\text{Ahorro Anual}}$$

$$= \frac{230.000}{1.1415.640} = 0.20 \text{ AÑOS}$$

ENERGIA AHORRADA	=	1383GJ/MES
AHORRO MENSUAL	=	S/. 117.970
COSTO DE IMPLEMENTACION=		S/. 230.000
PERIODO DE REPAGO	=	0.2 AÑOS

## APENDICE K

### CORRECCION DEL FACTOR POTENCIA

Los cálculos serán hechos dividiendo a la fábrica en 2 áreas, el área 1 que es alimentada por el generador a Diesel y el área 2 que es alimentada por Empresa Eléctrica.

#### A) CALCULO DE FACTOR POTENCIA DEL GENERADOR A DIESEL ALIMENTADO A:

	PM2	Máquina 2
Area 1	P.F.	(Planta de Fuerza)
	S.G.	(Servicios Generales)

Tomamos datos de Registros = Nov. 29/84

Los datos tomando a continuación son valores promedios del registro diario:

$$\bar{P}_{G-2} = 1779 \text{ KM}$$

$$\bar{I}_{G-2} = 509.58 \text{ A}$$

$$V = 2300 \text{ V}$$

$$FP_{G-2} = \frac{P_{G-2}}{\sqrt{3} V I_{G-2}} = 0.87$$

B) CALCULO DEL FACTOR POTENCIA DE AREA 2 (MAQUINA PM 1) ALIMENTADA POR LA EMPRESA ELECTRICA

Utilizamos datos de consumo tomados desde el medidor de la fábrica el día de Auditoría Martes 6 de Nov. /84 desde 12Hoo hasta 15Hoo. Además utilizamos el dato de corriente obtenido de los registros diarios de control interno del día Nov 29/84

$$\text{Consumo} = (2770 - 2768) * 1000 = 2000 \text{ KW. H}$$

$$P_{\text{pm 1}} = \frac{2.000 \text{ KW.H}}{3 \text{ H}} = 666.67 \text{ KW}$$

$$P_{\text{pm 1}} = 666.67 \text{ KW}$$

$$\bar{I} = 206.4 \text{ A} \quad f_p = \frac{P_{\text{pm 1}}}{\sqrt{3} V \bar{I}} = 0.81$$

$$V = 2.300 \text{ V}$$

CALCULO DEL BANCO DE CAPACITORES (SU CAPACIDAD) NECESARIO PARA ELEVAR EL Fp A 0.95 EN CADA AREA. ADEMAS CALCULO DEL COSTO DEL BANCO Y DEL TIEMPO DE RECUPERACION.

CAPACIDAD DEL BANCO

A) Para el área 1 servida por el generador G-2 de la fábrica.

$$P_{\text{promedio}} = 1779 \text{ KW}$$

$$F_p \text{ viejo} = 0.87 \quad \theta \text{ Viejo} = 29,54^\circ \quad F_p \text{ nuevo} = 0,95 \quad \theta \text{ Nuevo} = 18.19^\circ$$

$$KVAR = P_{\text{promedio}} (Tg^{\theta} \text{ Viejo} - Tg^{\theta} \text{ Nuevo})$$

$$KVAR = 423.47 \text{ (KVAR.)}$$

#### COSTO DEL BANCO DE CAPACITORES:

- Para el cálculo del Costo se utiliza el dato dado por la compañía técnica ECELCO a Sept/84, en donde:

$$\text{Costo} = 3.500 \text{ Sucres/ KVAR automático instalado}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = 423.47 * 3.500 = 1.482 * 10^6 \text{ SUCRES}$$

#### TIEMPO DE RECUPERACION :

- Para el cálculo del Tiempo de Recuperación tomamos los siguientes datos de la hoja de REPORTE DE PRODUCCION Y CONSUMO DE VAPOR Y ENERGIA correspondiente al mes de NOV. de 1984.

#### CONSUMO DE DIESEL DE LA

$$\text{PLANTA ELECTRICA} = 91.076 \text{ GALONES}$$

$$\text{COSTO TOTAL DEL DIESEL} = 1'867.058 \text{ SUCRES MES DE NOV.}$$

$$\text{COSTO POR GALON} = 20.5 \text{ SUCRES/GALON}$$

#### CANTIDAD DE ENERGIA ELECTRICA

$$\text{GENERADA POR EL G - 2 (Asumiendo } F_p = 0.80) = 1'125.245.0 \text{ KW - H}$$

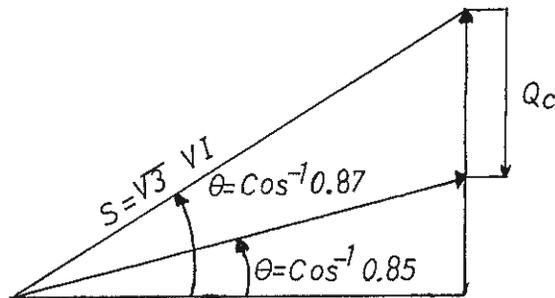
Sin embargo:

Cantidad de Energía que realmente  
esta generando el G - 2

$$= 1'125245.0 * \frac{0.87}{0.80} = 1'223704.0 \quad \text{KW-H}$$

Utilizando el  $F_p = 0.87$

TIEMPO DE RECUPERACION :



$$Q = \sqrt{3} VI \text{ Sen } \theta$$

$$P = 1'223.704,0 \text{ {KW-H } }$$

- a) Cálculo de cuánto cuesta producir 1{KWA - H} en esta planta eléctrica o G-2:

Actualmente Tenemos  $F_p = 0.87$

$$S = \frac{P}{F_p} = \frac{1223704.0}{0.87} = 1406556.0 \text{ {KWA - H } }$$

$$C = \frac{1'867058 \text{ SUCRES}}{1406556.0 \text{ KVA-H}} = 1.3274 \text{ SUCRES/KVA-H}$$

DATOS CARACTE

RISTICO DEL

G-2 MAS SU MA

QUINA MOTRIZ.

- b) Cálculo de:

$S'$  = Cantidad de KVA - M que deberá producir ahora el G-2 con el factor potencia ( $F_p$ ) mejorado a 0.95

$$S' = \frac{P}{0.95} = \frac{1223704.0}{0.95} = 1288109.4 \quad \{ \text{KVA} - \text{H} \}$$

c) Costo de la generación de energía ( $S'$ ) con el  $F_p$  ya mejorado:

$$\text{Costo de } S' = CS' = S * c = 1288109.4 * 1.3274$$

$$CS' = 1'709832.4 \quad \text{SUCRES}$$

d) AHORRO MENSUAL:

$$\text{AHM} = \{ \text{Costo Total DIESEL mes NOV/84} \} - CS' \\ \text{con } F_p = 0.87$$

$$= 1'867.058 - 1'709832.4 = 157226 \text{ SUCRES/MES.}$$

$$\approx 1'886.712/\text{AÑO}$$

e) TIEMPO DE RECUPERACION :

$$\text{TR} = \frac{\text{Costo total del Banco}}{\text{Ahorro Anual}} = \frac{1.482 \times 10^6}{1'886712} = 0.8 \text{ AÑOS}$$

f) AHORRO MENSUAL EN GJ

$$\frac{\text{(Ahorro mensual Suces/mes)}}{\text{Costo de Diesel Suces /GJ}} = \frac{157.226}{148.34} = 1060 \text{ GJ /MES}$$

ENERGIA AHORRADA	=	1060 GJ/MES
AHORRO MENSUAL	=	S/. 157.226
COSTO DE LA IMPLEMENTACION=		S/. 1'482.000
PERIODO DE REPAGO	=	0.8 AÑOS

CAPACIDAD DEL BANCO:

B) Para el área 2 servida por Empresa Eléctrica  
y que abastece a la máquina PM1 Tenemos:

$$P = 666.67 \text{ KW}$$

$$F_p \text{ viejo} = 0.81 \quad \text{Viejo} = 35.9^\circ$$

$$F_p \text{ nuevo} = 0.95 \quad \text{Nuevo} = 18.19^\circ$$

$$\text{KVAR} = P \text{ PROMEDIO} (\text{Tg } \theta \text{ Viejo} - \text{Tg } \theta \text{ Nuevo})$$

$$\text{KVAR} = 263.54 \text{ (KVAR)}$$

COSTO DEL BANCO DE CAPACITADORES:

- COSTO TOTAL DEL BANCO DE CAPACITADORES:

Para este cálculo utilizamos el dato de costo dado por la  
compañía técnica eléctrica ECELCO a sept/84:

costo = 3500 SUCRES/ KVAR Automático instalado.

$$\text{COSTO TOTAL} = 263.54 * 3.500 = 922.390.0 \text{ SUCRES}$$

AHORRO MENSUAL:

- Para este cálculo tenemos los siguientes datos:

Tarifa I-2 COBRADA POR EMPRESA ELECTRICA 66 Sucres por c/KW

al mes de Nov/84

3.26 Sucres por c/KW-H

MAXIMA DEMANDA CONTRATADA: 1000 KW

Consumo de Energía eléctrica

por el mes de Noviembre:  $\text{KWH} = 441600 \times \frac{0.81}{0.80}$

(Dato tomado de la hoja de reporte

de producción y Consumo de Vapor

y Energía de la fábrica de papel)  $\text{KWH} = 447120 \text{ KW-H}$

- Costo por consumo de Energía Eléctrica sin considerar la penalidad por bajo  $F_p$ .

1.000 * 66	=	66.000,00	Sucres
447120 x 3.26	=	<u>1.457.611,20</u>	Sucres
		1'523.611.2	Sucres
10 % Elect. Rural	=	152361,12	Sucres
CT= COSTO TOTAL		1'675.972.3	Sucres

- Costo por Consumo de Energía Eléctrica considerando la penalidad por un bajo  $F_p = 0.81$  :

$$1.000 * 66 = 66.000,00 \quad \text{SUCRES}$$

$$447120 \cdot 8 \cdot 3.26 = \underline{1'457.611,20} \quad \text{Sucres}$$

$$1'523.611,20$$

Penalidad:

$$1'523611.20 \times \frac{0.95}{0.81} = 1'786.951,4 \quad \text{Sucres}$$

$$10\% \text{ Eléctrico Rural} = 178.695,14 \quad \text{Sucres}$$

CT= Costo TOTAL

---


$$\text{Con Penalidad} \quad 1'965.646,5 \quad \text{Sucres}$$

$$\text{- Ahorro Mensual} = \text{AHM} = \text{CT}' - \text{CT} = 1'965646.5 - 1'675.972,3$$

$$\text{AHM} = 289.674 \quad \text{SUCRES/MES} \quad \text{S/. } 3'476088/\text{año}$$

$$\text{- Ahorro mensual en GJ} = 289.674/916.67 = 316 \text{ GJ / mes}$$

TIEMPO DE RECUPERACION:

$$\text{TR} = \text{Costo total del Banco/AHM} = \frac{922.390}{3'476088} = 0.3 \text{ AÑOS}$$

$$\text{ENERGIA AHORRADA} = 316 \text{ GJ/MES}$$

$$\text{AHORRO MENSUAL} = \text{S/. } 289.674$$

$$\text{COSTO DE IMPLEMENTACION} = \text{S/. } 922.390$$

$$\text{PERIODO DE REPAGO} = 0.3 \text{ AÑOS}$$

## APENDICE L

### INSTRUMENTACION

Para llevar a cabo un estudio energético es necesario disponer de ciertos instrumentos básicos, además de los que pudieran existir en la planta industrial.

Entre otros los siguientes:

#### MEDIDORES DE TEMPERATURA

- Termocupla\*
- Pirometro
- Termómetro de mercurio
- Termómetro bimetal

#### MEDIDORES DE FLUJO

- Rotámetro
- Velometro\*
- Ultrasónico
- Tubo de Pitot y manómetro
- Tipo orificio

---

\*Instrumentación usada en el análisis energético realizado en -  
la Industria de papel.

## ANALIZADOR DE GASES Y HUMOS

- Fyrite\*
- Smoketest\*

## ANALIZADOR DE AGUA

- Medidor de sólidos totales disueltos\*  
(STD)

## MEDIDORES DE HUMEDAD

- Psicrometro\*

## MEDIDORES DE ELECTRICIDAD

- Amperímetro\*
- Voltímetro\*
- Valtímetro\*
- Factor de potencia\*

---

\*Instrumentación usada en el análisis energético realizado en la Industria de papel.

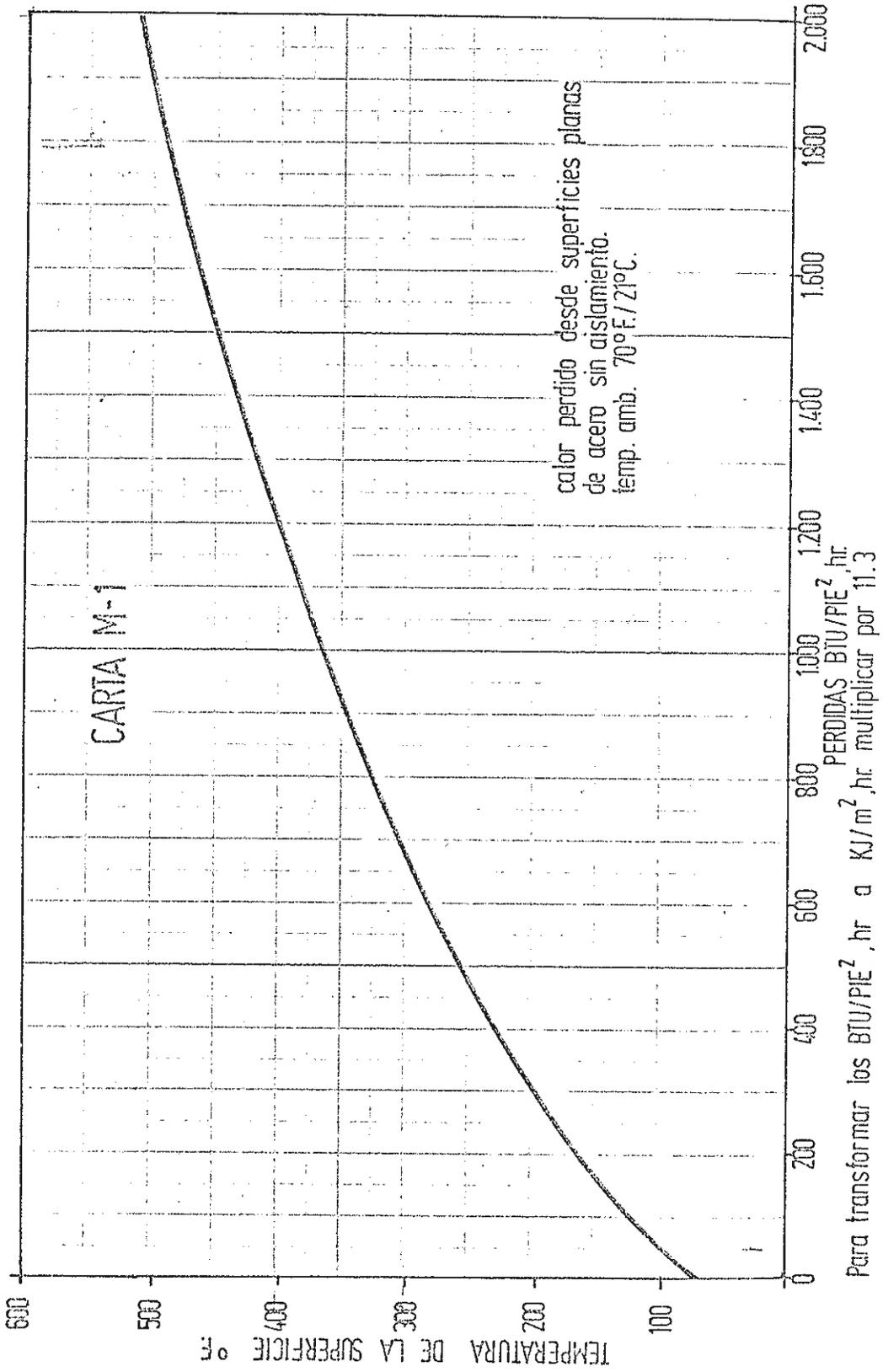
## APENDICE M

### CARTAS PARA EL CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR EN TUBERIAS Y SUPERFICIES PLANAS

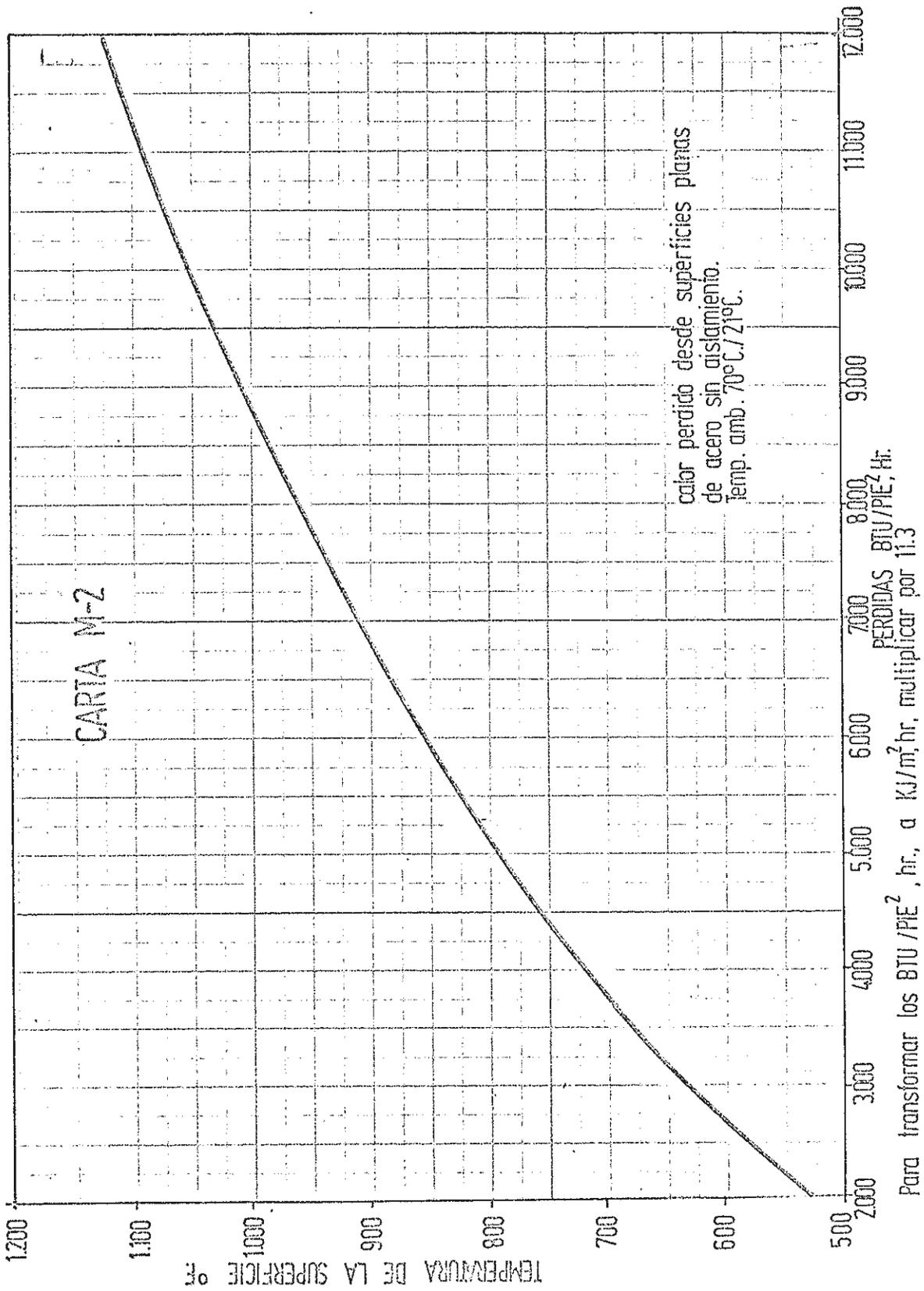
Estas cartas están basadas en las siguientes condiciones:

- Aire tranquilo
- Temperatura ambiente 70°F/21°C
- Superficies y/o tuberías sin aislar

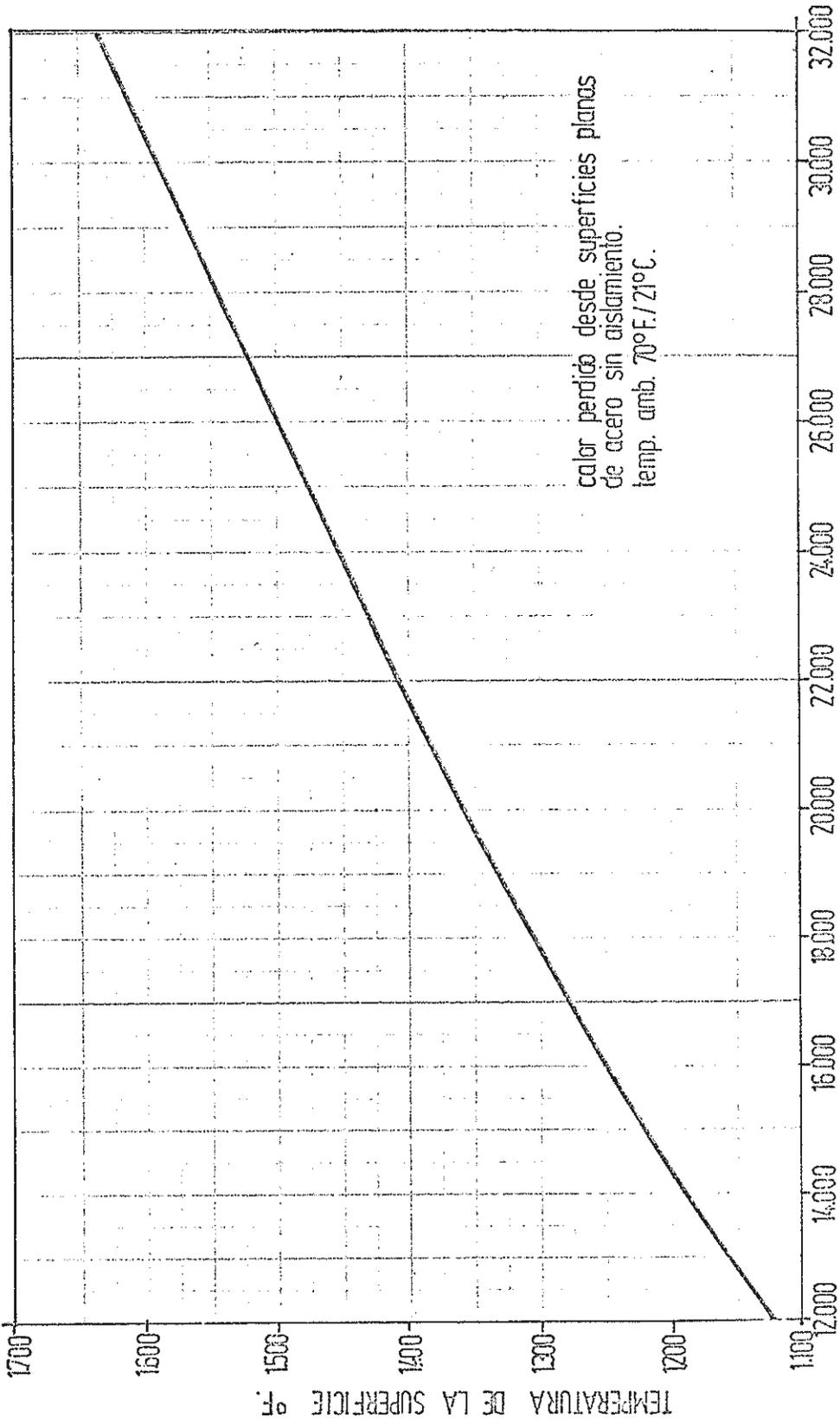
Han sido tomadas del libro "THERMAL INSULATION" por John F. Malloy, Ingeniero Mecánico de Charleston, West Virginia.



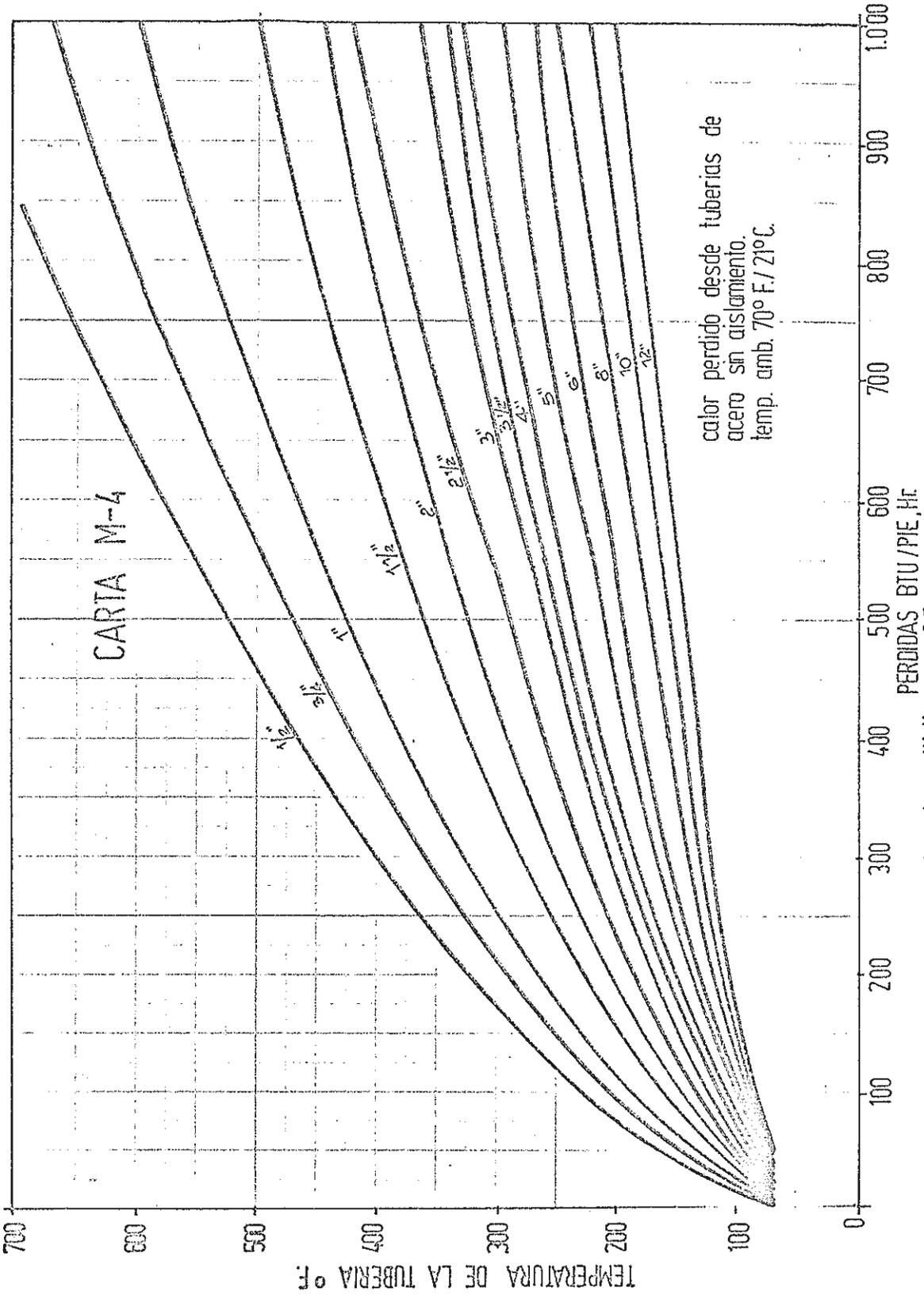
Para transformar los BTU/PIE<sup>2</sup>, hr a KJ/m<sup>2</sup>, hr multiplicar por 11.3



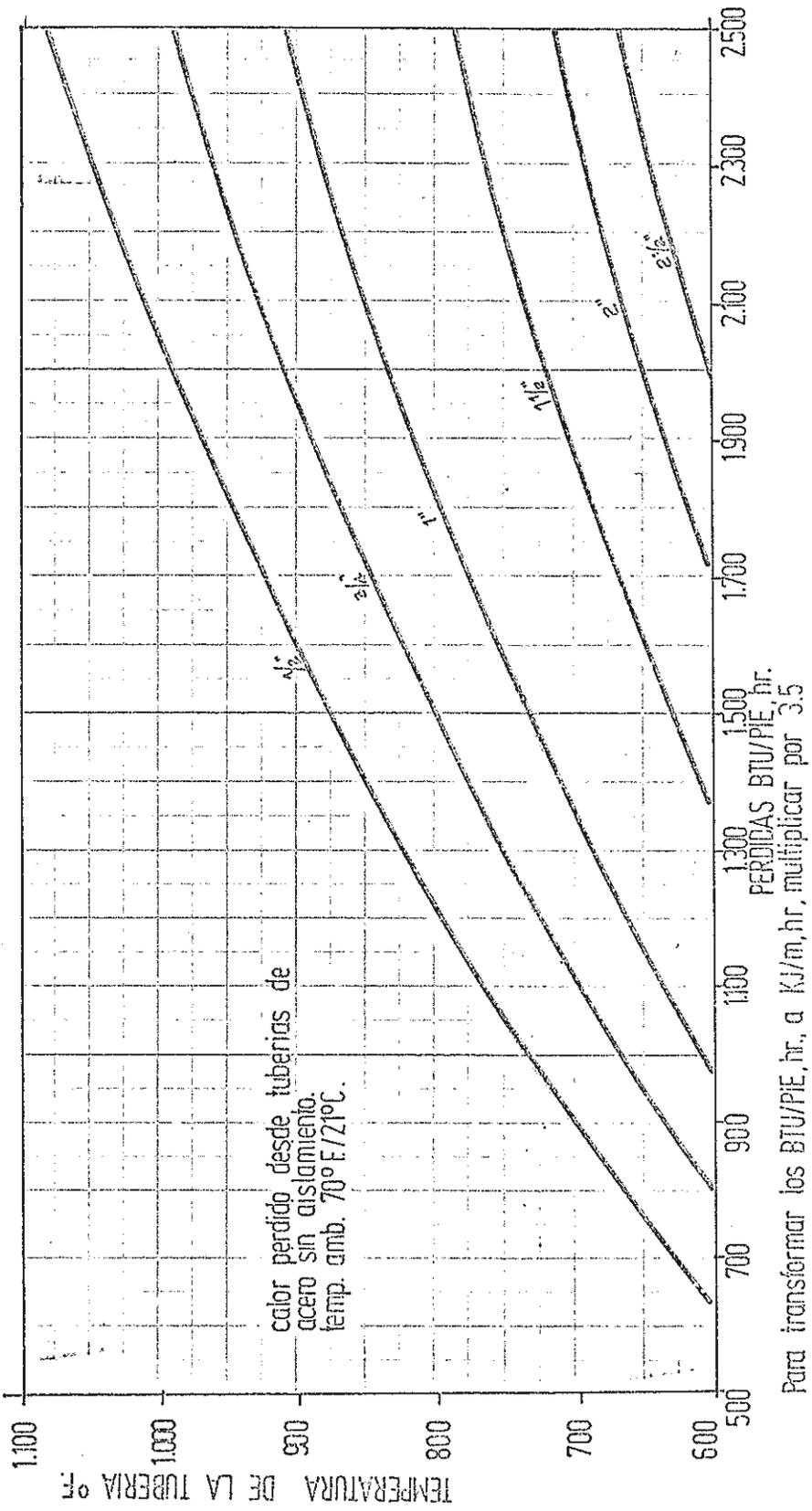
# CARTA M-3

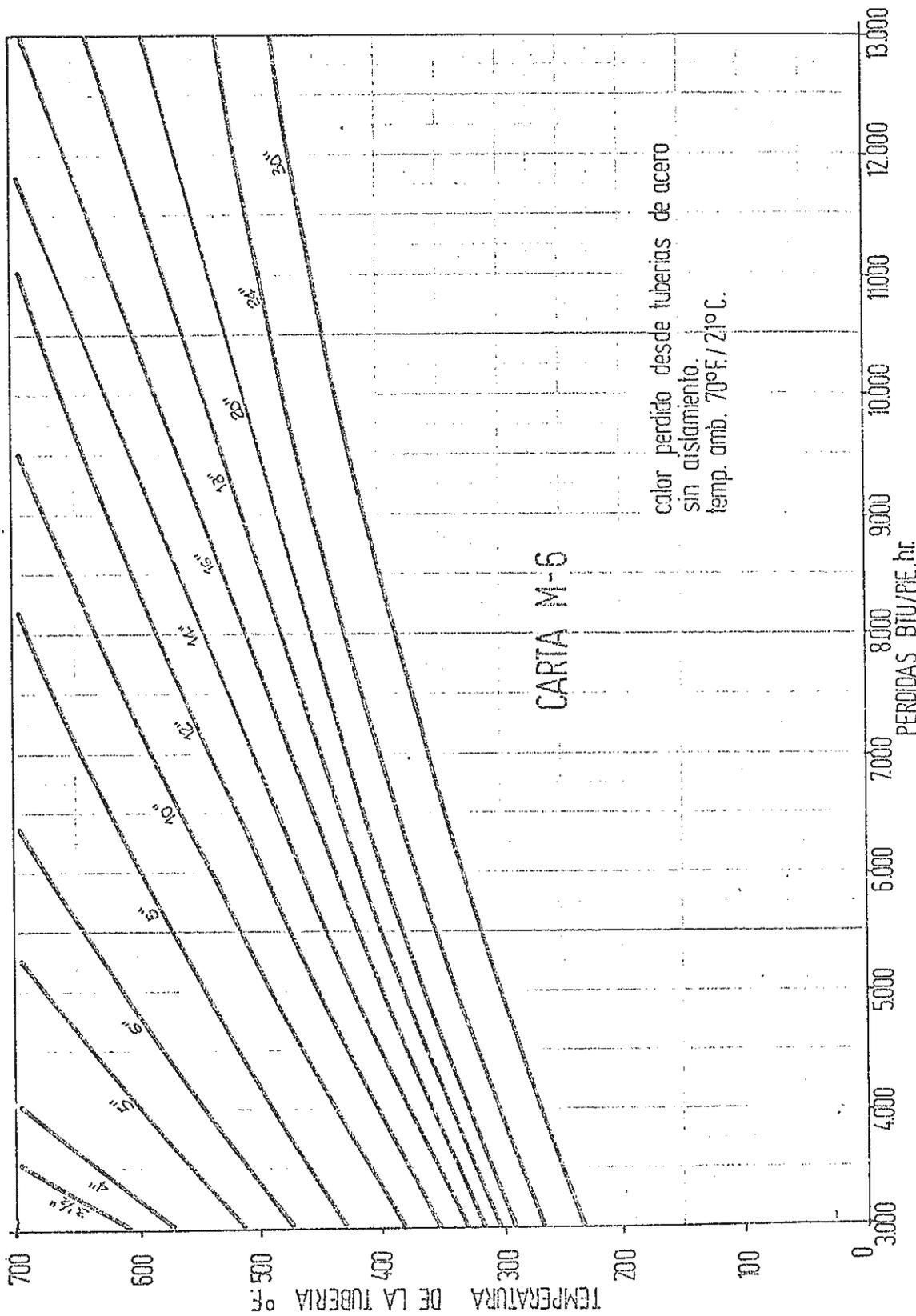


Para transformar los BTU/PIE<sup>2</sup>, Hr. a KJ/m<sup>2</sup>, hr. multiplicar por 113.

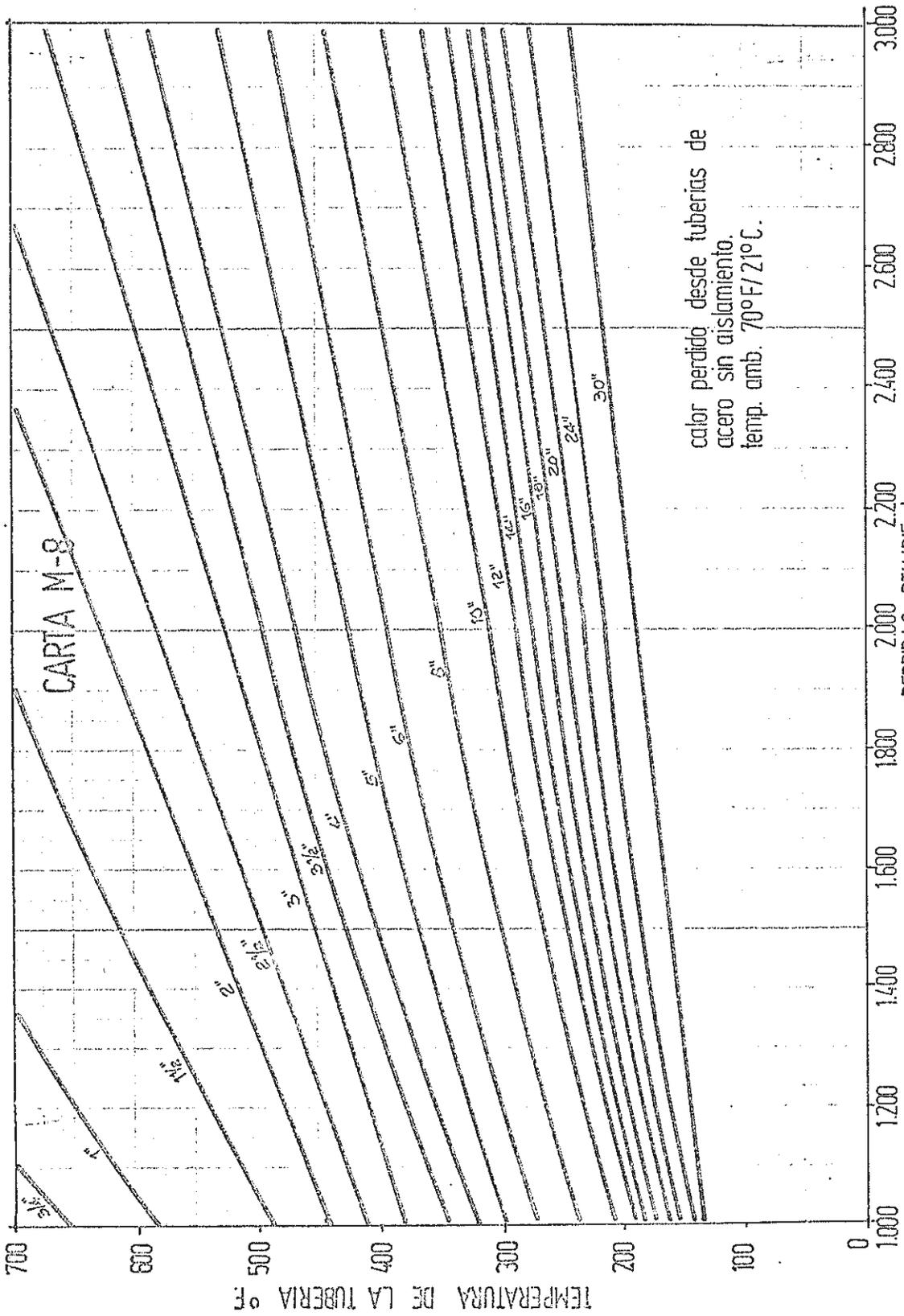


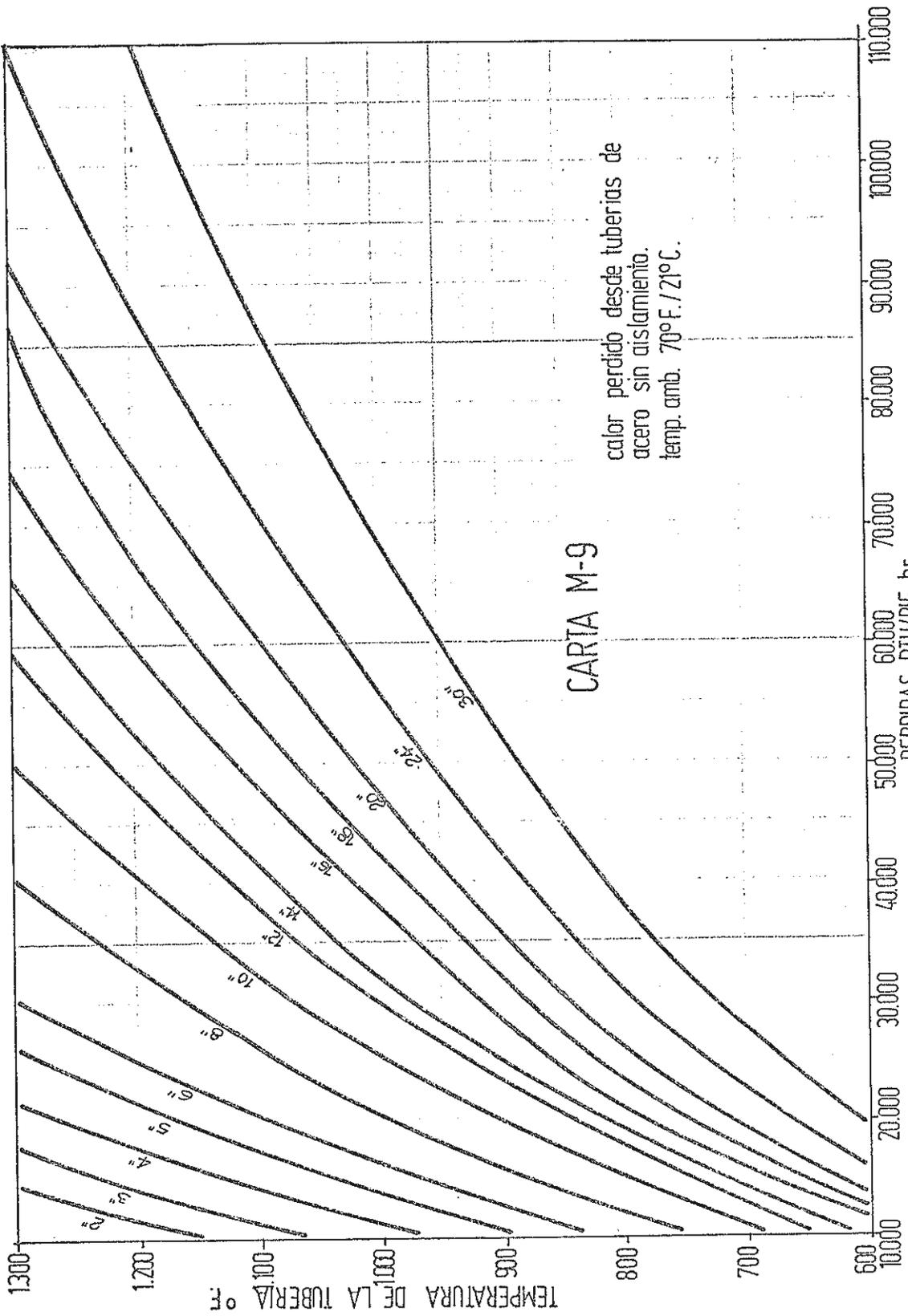
# CARTA M-5





Para transformar los BTU/PIE, hr a KJ/m, hr multiplicar por 3.5





CARTA M-9

calor perdido desde tuberías de  
acero sin aislamiento.  
temp. amb. 70°F./21°C.

Para transformar los BTU/PIE, hr. a KJ/m, hr. multiplicar por 3.5

## B I B L I O G R A F I A

1. CHIOGIOJI, M.: "Industrial Energy Conservation", Marcel - Dekker, Inc. New - York and Basel:
2. ESCOLA: "Optimizaci3n de Magnitudes en Ingenieria, Ediciones CEDEL, Barcelona, 1.982.
3. FANARITIS, J.P., Streich, H.J., "Heat Recovery en Process Plants", Stuthers well corp. USA, 1.973.
4. FEDERAL ENERGY ADMINISTRATION, "Economic thickness for Industrial Insulation", Conservation paper 46 (Washington, D.C.: Government Printing Office),1976.
5. GATTS, R., MASSEY R., ROBERTSON, J., "Energy Conservation Program Guide for Industry and Commerce".
6. HAGLER BAILLY & COMPANY, Reliance Energy Services, "Industrial Energy Auditing Manual", August,1984.

7. HAGLER, BAILLY & COMPANY, : "Industrial Energy Conservation", General Overview, Guayaquil - Ecuador, Agosto, 1.984.
8. JASIEWICZ, J.: "Conservación Energética en el Ecuador" INE - (QUITO).
9. KREITH, F., : "Principios de Transferencia de Calor", Herrero Hermanos Sucesores S.A., México, 1.970.
10. KUBLANK, P., LOPEZ H.: "Balances Energéticos del Ecuador", Serie Histórica, 1979 - 1982, INE, Quito, 1.983.
11. MALLOY, J.F.: "THERMAL INSULATION", Van Nostrano Reinhold - Company, New York, 1.969.
12. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, Octava Edición, Volumen I.
13. MORAN E., VERNET. P.: "Industrial Energy Consumption a develop ing Country: The Ecuador Case", Material no publicado, Marzo, 1.982.
14. MORAN, E.: "Los efectos económicos de la racional utilización de la energía, INE, 1.984.-
15. VERNET, P. Villavicencio, A.: "Balances Energéticos", Primera -

parte, Análisis del consumo final, Quito, 1980.

16. YAÑEZ, E. "Tratamientos de agua en calderas de vapor", Químicamp del Ecuador.