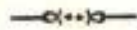


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA



“ AUDITORIA ENERGETICA ELECTRICA EN LA INDUSTRIA ”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: **POTENCIA**

Presentada por:
GUIDO ESTUARDO RODRIGUEZ VELEZ

Guayaquil - Ecuador

1.987

AGRADECIMIENTO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Química
D. F. L. P. Q. C. A.

Inv. No. _____

Al Ing. Jorge Flores Macías,
Director de Tesis, por su ayuda
y colaboración para la realiza-
ción de este trabajo.

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Civil
UNIVERSIDAD
Inv. No. _____

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

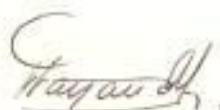
A MI ESPOSA



.....
Ing. Gustavo Bermúdez Flores
SUB-DECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA ELECTRICA



.....
Ing. Jorge Flores Macías
DIRECTOR DE TESIS



.....
Ing. José Layana Chancay
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Ing. Cristobal Vera Gencón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

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

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


.....
Guido Estuardo Rodríguez Velez.

RESUMEN

En el primer capítulo se hace un estudio de la forma de planificar los costos de energía eléctrica en una industria, valiéndose de modelos matemáticos, además se incluyen las ideas fundamentales sobre el uso de las diferentes curvas de carga. En la sección final se estudian los diferentes métodos de evaluación económica, a fin de tener los conocimientos para justificar todo desembolso que se haga en medidas de conservación.

Sobre la selección, aplicación y mantenimiento de motores eléctricos trata el segundo capítulo, aquí se da especial importancia a la selección de un motor ya que, cuando un motor está mal dimensionado trae efectos negativos para la conservación de energía eléctrica. Los nuevos motores eléctricos de alta eficiencia también son motivo de estudio, debido al aumento progresivo en el costo de energía eléctrica.

En el tercer capítulo, se da los fundamentos de iluminación, además se explica un método muy universal de cálculo de iluminación. Las nuevas luminarias de alto rendimiento también son motivo de análisis. Con sugerencias de mantenimiento y operación de sistemas de iluminación termina este capítulo.

La corrección del factor de potencia es un problema muy usual que se lo analiza en el cuarto capítulo. Aquí se compara diversos dispositivos, y métodos que sirven para corregir; en cada análisis se ve aspectos técnicos y económicos a fin de dar una idea clara para seleccionar la forma de corregir un factor de potencia.

El quinto capítulo es una brevísima introducción a los tópicos de como ahorrar energía en sistemas térmicos, tal es así que se analiza sobre la generación de vapor en los calderos y su uso eficiente, evitando fugas, etc.

El último capítulo, es la aplicación práctica de algunas de las normas que se recomienda durante el desarrollo de la tesis. Esta aplicación se la hizo en la planta de producción de oxígeno de AGA (LINDE), en la cual se obtuvo excelentes resultados.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XVII
INTRODUCCION	19
CAPITULO I	
PLANIFICACION DE COSTOS Y CONSUMO DE ENERGIA ELEC	
TRICA	20
1.1 Modelo de consumo de energía	20
1.1.1 Ajuste de curvas	20
1.1.2 Elaboración del modelo	30
1.2 Estudio de curvas de carga	36
1.2.1 Clasificación	41
1.2.2 Utilización de curvas de carga	43
1.3 Métodos de evaluación económica	45
1.3.1 Técnicas de análisis para medidas de ba-	
jo costo	47
1.3.2 Técnicas de análisis para medidas de me-	
diano y alto costo	55
1.3.3 Evaluación de riesgo	70
CAPITULO II	
SELECCION, APLICACION Y MANTENIMIENTO DE MOTORES	
ELECTRICOS	75

	<u>Pág.</u>
2.1 Conceptos básicos de máquinas rotativas	75
2.1.1 Máquinas D.C.	75
2.1.2 Máquinas A.C.	83
2.2 Planificación de accionamiento del motor	91
2.2.1 Determinación de la potencia del motor a plena velocidad	98
2.2.2 Influencia de la clase de servicio so- bre el tamaño del motor	100
2.2.3 Clases de servicio	104
2.3 Mantenimiento del motor	114
2.4 Análisis técnico económico de nuevos motores de alta eficiencia	118
2.4.1 Aspectos técnicos	119
2.4.2 Aspectos económicos	130
 CAPITULO III	
ILUMINACION	138
3.1 Conceptos básicos	138
3.1.1 Definiciones	138
3.1.2 Factores que influyen en la visión	146
3.2 Cálculos de iluminación	149
3.2.1 Cálculo para alumbrado de interiores	149
3.2.2 Costo de las instalaciones de alumbrado	164
3.3 Técnicas para conservación de energía en sis- temas de iluminación	169
3.3.1 Operación y mantenimiento de sistemas iluminación	172

	<u>Pág.</u>
3.3.2 Fuentes de iluminación	173
3.3.3 Reordenamiento del sistema de ilumina- ción	181
3.3.4 Controles en el sistema de iluminación .	185
 CAPITULO IV	
CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA	186
4.1 Conceptos básicos	186
4.1.1 Factor de potencia de un grupo de cargas	188
4.1.2 Formas para calcular factor de potencia	193
4.2 Capacitores	195
4.2.1 Localización de capacitores	198
4.3 Motores y condensadores síncronos	208
4.3.1 Fundamentos	209
4.3.2 Aplicaciones: motores de inducción más capacitores versus motores síncronos .	211
4.4 Ventajas técnicas y económicas al mejorar el factor de potencia	217
4.4.1 Ahorros en la planilla de consumo eléc- trico	218
4.4.2 Alivio de la capacidad del sistema de potencia	219
4.4.3 Reducción de pérdidas en el sistema de potencia	223
4.4.4 Mejoramiento del voltaje	225

	<u>Pág.</u>
CAPITULO V	
GENERACION Y USO EFICIENTE DEL VAPOR	229
5.1 Generación eficiente del vapor	229
5.1.1 Factor de carga de calderos	229
5.1.2 Mantenimiento	231
5.1.3 Limpieza de las superficies de transfe rencia	231
5.1.4 Aislamiento térmico	231
5.2 Uso racional del vapor	232
5.2.1 fugas de vapor	232
5.2.2 Aislamiento térmico	233
5.2.3 Velocidad de transferencia del calor	233
5.2.4 Trampas de vapor	234
5.3 Aislamiento térmico	236
5.3.1 Espesor económico del aislamiento	236
5.3.2 Pasos de cálculo	238
CAPITULO VI	
APLICACION PRACTICA	240
6.1 Evaluación general de las condiciones de la industria	240
6.1.1 Proceso de producción	240
6.1.2 Diagramas : del proceso y eléctrico	245
6.1.3 Datos de los equipos: de placa y de operación	245
6.1.4 Curvas de carga	259

	<u>Pág.</u>
6.1.5 Datos históricos de producción y consumo de energía eléctrica	262
6.2 Recomendación de medidas para ahorrar energía eléctrica	267
6.2.1 Medidas de bajo costo	267
6.2.2 Medidas de mediano y alto costo	280
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	283
APENDICE A Pliego tarifario industrial de E.E.E.	287
APENDICE B Cálculo iterativo de la T.I.R. para el ejemplo del Capítulo I	292
APENDICE C Características y aplicaciones de motores polifásicos de c-a 60 HZ	294
APENDICE E Balances de energía	306
BIBLIOGRAFIA	316

INTRODUCCION

Las políticas energéticas nacionales e internacionales reconocen cada vez más la necesidad del uso racional de la energía, ante ésta situación se actualizan conocidas técnicas para ahorrar energía, es aquí donde nace la "conservación de energía" que no es más que un conjunto de acciones que se implementan para cortar desperdicios y obtener lo más posible de la energía utilizada.

Dentro de éste esquema general, nace la idea de realizar el presente trabajo, debido a que la mayoría de manuales de conservación de energía dan mayor importancia a los sistemas térmicos, de transferencia de calor, generación de vapor, etc.

Esta tesis se la puede considerar como un "manual para conservación de energía eléctrica", aquí se dan los fundamentos sobre los diversos tópicos que un auditor eléctrico debe conocer a fin de llevar a cabo una auditoría eléctrica de la mejor forma. Con el propósito de demostrar la bondad de las técnicas sugeridas, se han aplicado éstas en un caso práctico.

Este trabajo será de mucha utilidad para la persona que desee realizar una auditoría eléctrica, ya que encontrará la información fundamental reunida en un sólo sitio.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE LITONIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
ELECTRÓNICA
TEL. 24

CAPITULO I

PLANIFICACION DE COSTOS Y CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

1.1 MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA

Debido a la importancia que ha tomado el costo de la energía dentro de la industria, es necesario hacer un exhaustivo estudio del consumo de ésta a fin de reducir gastos fijos y controlar los variables, es aquí donde se origina la necesidad de modelar el consumo de energía valiéndose de métodos estadísticos.

1.1.1 AJUSTE DE CURVAS

A menudo se encuentra en la práctica que existe una relación entre dos o más variables, y se desea expresar esta relación mediante una ecuación matemática que ligue las variables.

A partir de una serie de datos que muestren los correspondientes valores de las variables consideradas, las cuales expresan como puntos (x_j, y_j) en un sistema coordinado rectangular, se obtiene lo que se conoce como diagrama de dispersión.

La curva de ajuste puede tener diversas for-

mas tales como :

$$\begin{array}{ll}
 y = a + bx & \text{RECTA} \\
 y = a + bx + cx^2 & \text{PARABOLA} \\
 y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + px^n & \text{Curva de grado } n
 \end{array} \quad (1.1)$$

Para determinar la ecuación matemática que representa la curva de ajuste se recurre al análisis de mínimos cuadrados. La estimación de nuevos valores de "y" se conoce como regre-sión. La curva de ajuste obtenida es la cur-va de regresión.

a) METODOS DE MINIMOS CUADRADOS.

Si se tiene valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ para los cuales se ha observado y_1, y_2, \dots, y_n , se puede ajustar dichos puntos con una curva, tal que cada valor de "y" represente el valor medio de las correspondientes de "x". En ésto se basa el método de mínimos cuadrados (ver Fig. 1.1).

La distancia vertical de un punto cualquiera (x_j, y_j) a la curva de grado n,

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + px^n \quad (2)$$

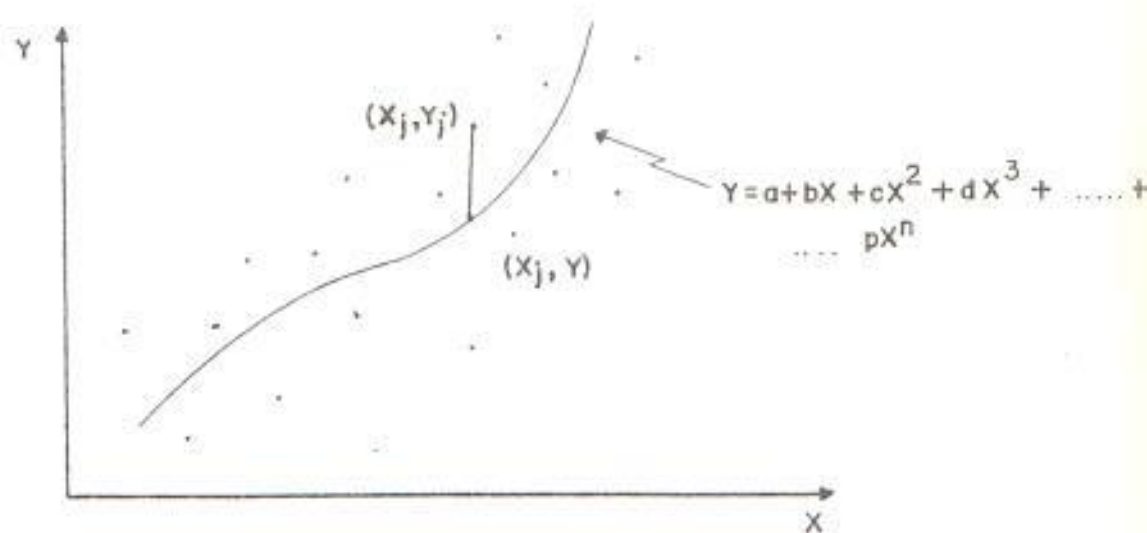


Fig. 1.1 FUNDAMENTOS DE MINIMOS CUADRADOS

es $|y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n|$
 y se llama desviación o residuo.

La suma de los cuadrados de éstas desviaciones (o sea, considerando todos los puntos) es:

$$q = \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n)^2 \quad (1.3)$$

En el método de los mínimos cuadrados se escoge a, b, c, \dots, p ; de tal manera que "q" es un mínimo. Puesto que $q = f(a, b, c, \dots, p)$, se debe cumplir que :

$$\frac{\partial q}{\partial a} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial q}{\partial b} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial q}{\partial c} = 0 \quad ; \quad \text{etc.}$$

Es decir

$$\frac{\partial q}{\partial a} = -2 \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = -2 \sum_{j=1}^n x_j (y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial c} = -2 \sum_{j=1}^n x_j^2 (y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n) = 0$$

(1.4)

$$\frac{\partial q}{\partial p} = -2 \sum x_j^n (y_j - a - bx_j - cx_j^2 - dx_j^3 - \dots - px_j^n) = 0$$

Se tiene un sistema de $n+1$ ecuaciones con n incógnitas. Reordenando el sistema (1.4) se obtiene lo que se conoce como las ecuaciones normales de $-y-$:

$$\begin{aligned} Na + b \sum x_j + c \sum x_j^2 + \dots + p \sum x_j^n &= \sum y_j \\ a \sum x_j + b \sum x_j^2 + c \sum x_j^3 + \dots + p \sum x_j^{n+1} &= \sum x_j y_j \\ a \sum x_j^2 + b \sum x_j^3 + c \sum x_j^4 + \dots + p \sum x_j^{n+2} &= \sum x_j^2 y_j \\ \cdot & \\ \cdot & \\ a \sum x_j^n + b \sum x_j^{n+1} + c \sum x_j^{n+2} + \dots + p \sum x_j^{2n} &= \sum x_j^n y_j \end{aligned} \quad (1.5)$$

Poniendo estas ecuaciones en forma matricial, queda de la siguiente forma :

$$\begin{bmatrix} N & \sum x_j & \sum x_j^2 & \sum x_j^3 & \sum x_j^4 & \dots & \sum x_j^n \\ \sum x_j & \sum x_j^2 & \sum x_j^3 & \sum x_j^4 & \dots & \dots & \sum x_j^{n+1} \\ \sum x_j^2 & \sum x_j^3 & \sum x_j^4 & \dots & \dots & \dots & \sum x_j^{n+2} \\ \sum x_j^3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \sum x_j^{n+3} \\ \vdots & & & & & & \\ \sum x_j^n & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \sum x_j^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ \cdot \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_j \\ \sum x_j y_j \\ \sum x_j^2 y_j \\ \sum x_j^3 y_j \\ \vdots \\ \sum x_j^n y_j \end{bmatrix}$$

donde las sumatorias son con respecto a j , de 1 a n .

Resolviendo el sistema de ecuaciones (1.5) se determinan los coeficientes a, b, c, d, \dots, p de la curva de grado n .

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + px^n \quad (1.6)$$

que es la que mejor se ajusta a datos propuestos.

CASO LINEAL : (ver Fig. 1.2)

Para el caso de una recta ($n=1$) la curva de regresión es :

$$y = a + bx \quad (1.7)$$

Son necesarias dos ecuaciones normales :

$$aN + b \Sigma X = \Sigma Y$$

$$a \Sigma X + b \Sigma X^2 = \Sigma XY \quad (1.8)$$

donde los coeficientes "a" y "b" de (1.6) estarían entonces dados por :

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \Sigma Y & \Sigma X \\ \Sigma XY & \Sigma X^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & \Sigma X \\ \Sigma X & \Sigma X^2 \end{vmatrix}} = \frac{\Sigma X^2 \Sigma Y - \Sigma X \Sigma XY}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

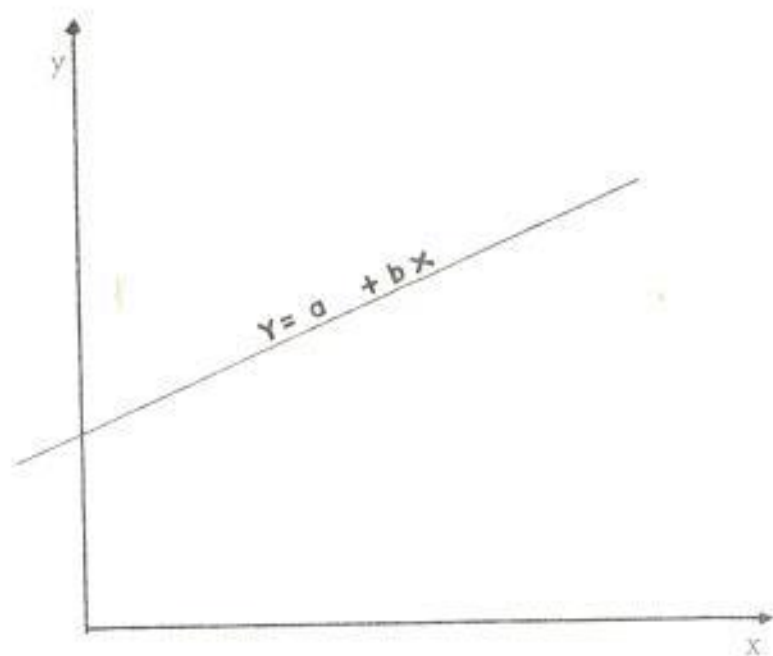


Fig. 1.2 CASO LINEAL

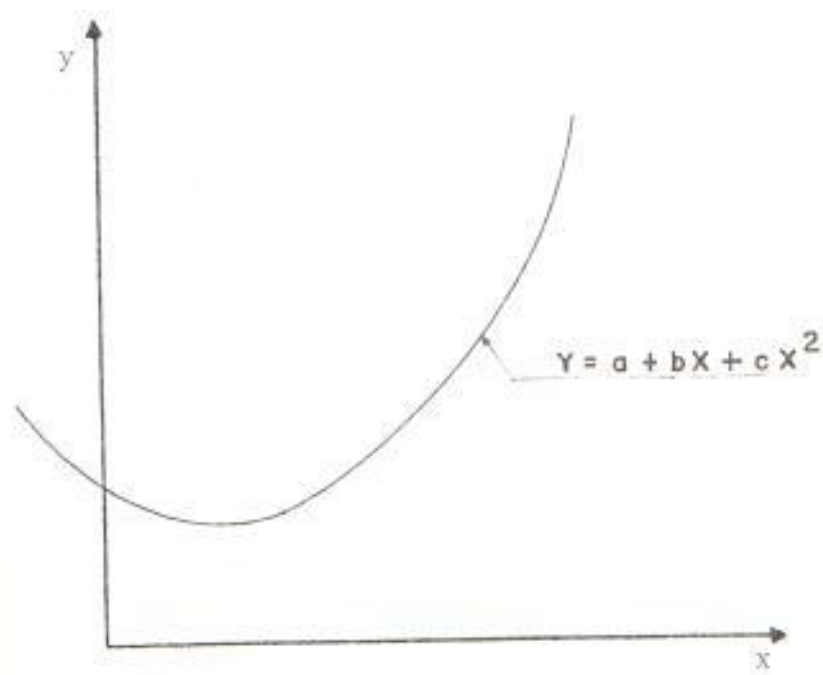


Fig. 1.3 CASO CUADRATICO

$$b = \frac{\begin{vmatrix} N & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma xy \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & \Sigma x \\ \Sigma x & \Sigma x^2 \end{vmatrix}} = \frac{N \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{N \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

CASO CUADRÁTICO : (ver Fig. 1.3)

Si los datos propuestos se aproximan a una parábola como la de la Figura, la curva de regresión es :

$$y = a + bx + cx^2 \quad (1.9)$$

Y las ecuaciones normales se reducen (n=2) a :

$$\begin{aligned} aN + b \Sigma x + c \Sigma x^2 &= \Sigma y \\ a \Sigma x + b \Sigma x^2 + c \Sigma x^3 &= \Sigma xy \\ a \Sigma x^2 + b \Sigma x^3 + c \Sigma x^4 &= \Sigma x^2 y \end{aligned} \quad (1.10)$$

Los coeficientes a, b, y c de (1.9) se calculan a partir de (1.10) ya son:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \Sigma y & \Sigma x & \Sigma x^2 \\ \Sigma xy & \Sigma x^2 & \Sigma x^3 \\ \Sigma x^2 y & \Sigma x^3 & \Sigma x^4 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} N & \Sigma y & \Sigma x^2 \\ \Sigma x & \Sigma xy & \Sigma x^3 \\ \Sigma x^2 & \Sigma x^2 y & \Sigma x^4 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

donde Δ , el determinante del sistema está dado por :

$$\Delta = \begin{vmatrix} N & \Sigma x & \Sigma x^2 \\ \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma x^3 \\ \Sigma x^2 & \Sigma x^3 & \Sigma x^4 \end{vmatrix}$$

CORRELACION :

La teoría de correlación intenta explicar el grado de relación entre las variables, determinando en que medida una ecuación de regresión estima o describe la relación entre dichas variables.

Consideremos dos variables $\{x, y\}$ en un diagrama de dispersión que muestra la ubicación de los puntos (x, y) . Si los puntos parecen agruparse siguiendo una recta se dice que la correlación existente es lineal, en caso de agruparse siguiendo una curva la correlación es curvilínea, en ambos casos si "y" tiende a incrementarse cuando se incrementa "x" la correlación es positiva. Si "y" tiende a disminuir cuando se incrementa "x", la correlación es negativa.

El grado de correlación entre (x_j, y_j) se mide a través del "coeficiente de correlación" $\rho(x,y)$ adimensional cuyo valor oscila entre +1 y -1, según la correlación sea positiva o negativa respectivamente.

Debe indicarse que un $\rho(x,y)$ pequeño para un ajuste lineal no necesariamente significa que no existe correlación entre las variables ya que puede haber un alto $\rho(x,y)$ curvilínea y viceversa.

Así mismo, un $\rho(x,y)$ elevado (próximo a 1 ó -1) no indica necesariamente a una tendencia directa de las variables. El coeficiente de correlación lineal se lo calcula con la siguiente expresión :

$$\rho(x,y) = \sqrt{\frac{a \sum y + b \sum xy - \bar{y} \sum y}{\sum y^2 - \bar{y} \sum y}} \quad (1.11)$$

Si se trata de regresión curvilínea de 2do. grado el coeficiente de correlación puede calcularse así :

$$\rho(x,y) = \sqrt{\frac{a \sum y + b \sum xy + c \sum x^2 y - \bar{y} \sum y}{\sum y^2 - \bar{y} \sum y}} \quad (1.12)$$

En general, para el caso de curvas de grado "n" de la forma de la ecuación (1.5) el coeficiente de correlación será :

$$\rho(x,y) = \frac{\sqrt{a \sum y + b \sum xy + c \sum x^2 y + \dots + p \sum x^n y - \bar{y} \sum y}}{\sum y^2 - \bar{y} \sum y} \quad (1.13)$$

1.1.2 ELABORACION DEL MODELO

Para analizar los datos de producción y consumo energético, se prepara un gráfico anual de consumo Vs. producción, ya sea para toda la planta o por secciones de acuerdo al proceso de producción. A cada punto del gráfico le corresponde un ángulo α cuya tangente representa el consumo específico promedio del respectivo mes.

En la mayoría de procesos, los puntos presentan una tendencia lineal, lo cual significa que hay un consumo fijo K y otra variable, ligado a la producción mediante una constante de proporcionalidad, dicha constante corresponde a la tangente del ángulo β (Ver Fig.1.4).

El consumo fijo de energía se debe fundamentalmente a pérdidas como radiación, fugas de

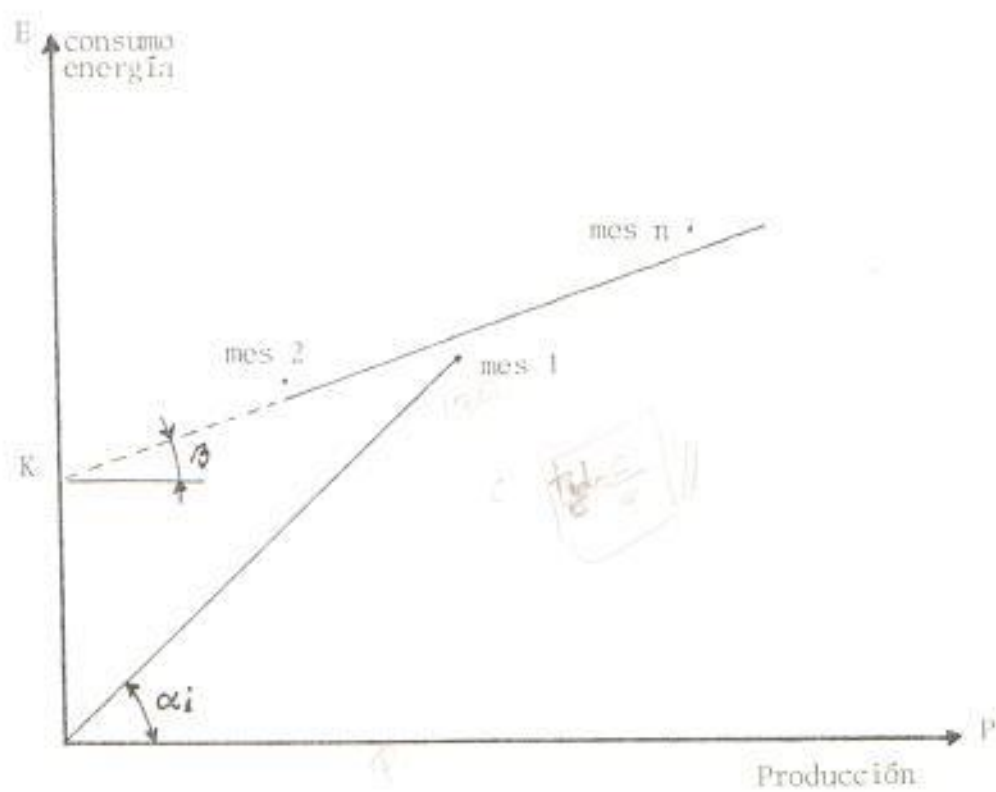


Fig. 1.4 CONSUMO DE ENERGIA vs. PRODUCCION

vapor, arranques y paradas, etc. Cuando el consumo fijo es elevado, la primera acción es tratar de reducirlo.

$$\tan \alpha_i = \frac{E_i}{P_i} \quad ; \text{ Consumo específico mes } i$$

En general

$$E = K + p \tan \beta \quad (1.14)$$

$$\tan \alpha_i \approx \frac{K}{P_i} + \tan \beta \quad (1.15)$$

El análisis, gráfico de los datos de consumo energético y producción permite observar el comportamiento de los procesos e identificar los medios de economizar energía. La Figura 15, muestra los casos básicos que pueden presentarse y su respectiva interpretación.

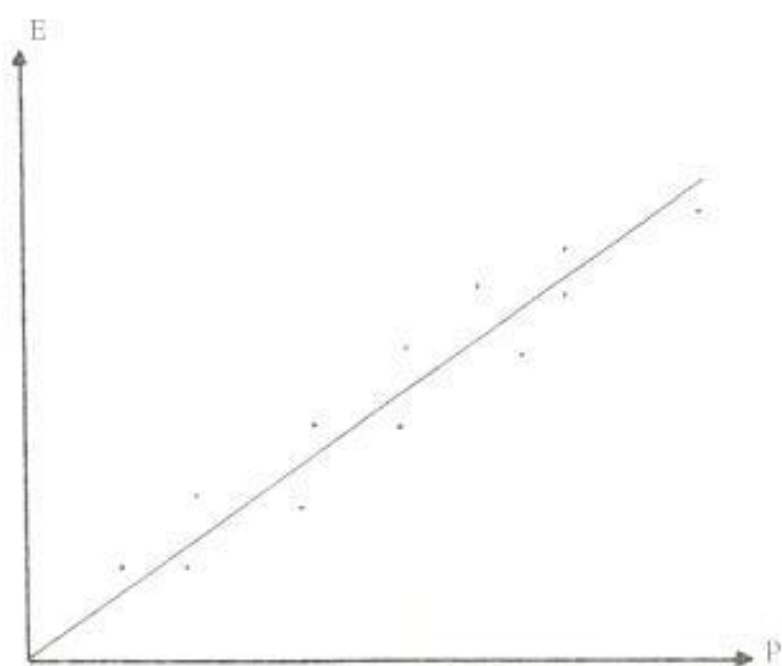
INTERPRETACIÓN :

CASO #1.- No existe correlación entre producción y consumo. Los ahorros de energía pueden alcanzarse estableciendo procedimientos de operación ordenados y repetitivos. Caso relativamente frecuente en la práctica.

CASO #2 .- Se distingue una tendencia propor-



Caso #1



Caso #2

Fig. 1.5 CASOS BASICOS EN LA INTERPRETACION DE LOS GRAFICOS CONSUMO DE ENERGIA (E) vs. PRODUCCION (P)

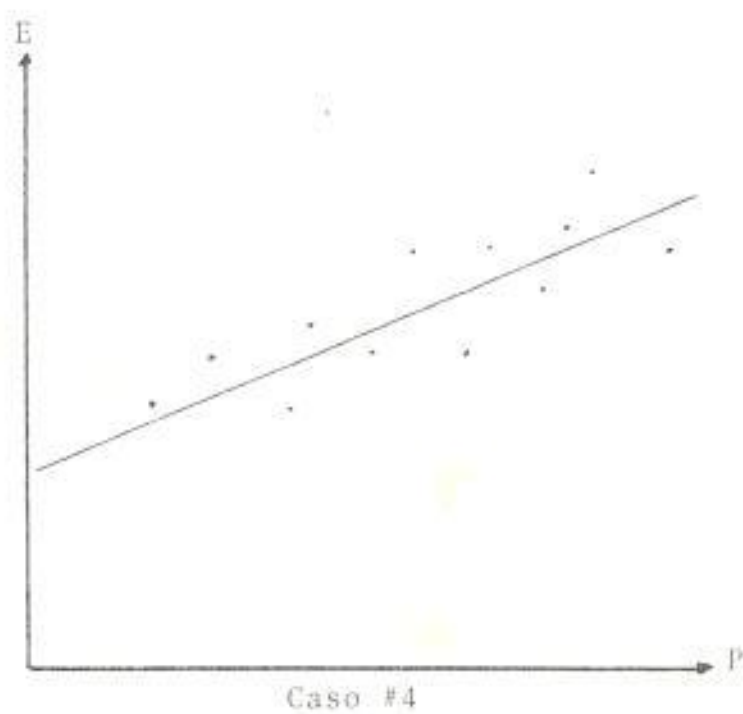
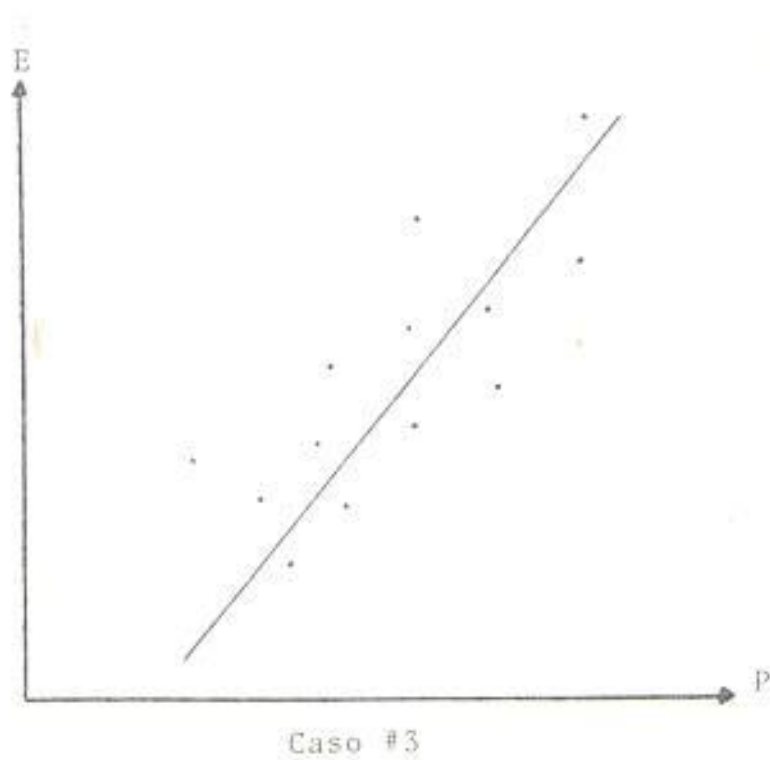


Fig. 1.5 (continuación)

cional entre producción y consumo. El proceso es ordenado, repetitivo y perfectamente establecido. Toda la energía se emplea para producir; los desperdicios son insignificantes. Los ahorros son posibles sólo con un perfeccionamiento de proceso. Caso raro y casi ideal.

CASO #3.- Se observa correlación entre producción y consumo. Las pérdidas aumentan con la producción. Los ahorros de energía pueden alcanzarse mediante la reducción de estas pérdidas, por ejemplo recuperando energía térmica del producto. Caso poco frecuente.

CASO #4.- Existe correlación entre producción y consumo las necesidades energéticas tiene dos partes :

-Una fija, independientemente de la producción (pérdida).

-Otra variable proporcional a la cantidad producida. Es posible ahorrar ante todo bajando el consumo fijo. El consumo variable es más difícil de reducir.

1.2 ESTUDIO DE CURVAS DE CARGAS

Cuando necesitamos hacer el cálculo energético de una planta es fundamental definir las condiciones que debe cumplir la fuente de energía, éstas podrían ser clasificadas bajo tres aspectos : demanda máxima, requerimiento total de energía y distribución de la energía demandada.

DEMANDA MAXIMA

La capacidad de la planta depende, sobre todo del consumo máximo que tendrán todos los aparatos. Casi toda planta sirve a una variedad de cargas con variación de demanda sobre un período de tiempo. Cada aparato (máquina, etc.) tiene una máxima capacidad de absorción de potencia; si todos los aparatos de consumo funcionan simultáneamente a su carga máxima, la DEMANDA MAXIMA del sistema será igual a la CARGA CONECTADA. Sin embargo, la experiencia demuestra que la actual demanda máxima de una fábrica será menos que su carga conectada. La relación de demanda máxima y carga conectada es medida por :

$$\text{FACTOR DE DEMANDA} = \frac{\text{DEMANDA MAXIMA}}{\text{CARGA CONECTADA}} \quad (1.16)$$

FACTOR DE CARGA

Este índice nos muestra como está siendo utilizada la energía eléctrica. En una industria y es el resultado del consumo dividido para la demanda de potencia multiplicada por 730 que es el número medio de horas por mes.

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Consumo (Kwh)}}{730 \times \text{Demanda (Kw)}} \quad (1.16a)$$

El factor de carga se reduce cuando en la planta sucede lo siguiente :

- 1) Cuando todos los equipos funcionan a plena carga en un momento dado.
- 2) Cuando todos los equipos son encendidos al mismo tiempo.
- 3) Cuando no existe una programación de utilización de energía.
- 4) Cuando una parte de los equipos está parada mucho tiempo.

Para corregir estos desperdicios de energía se recomienda :

- 1) Disminuir las períodos ociosos de trabajo.
- 2) Verificar las condiciones técnicas de la instalación y dar a los equipos mantenimiento periódico.
- 3) Programar la producción en función del costo de la energía.
- 4) Seleccionar los aparatos que puedan operar fuera del período de carga máxima.

La influencia en el costo del Kwh consumido es de la siguiente forma:

GASTO MENSUAL (GM)

$$GM = \left((T.P.) D + (T.E.) E \right) \frac{0.9}{F.P.I} \quad (1.16b)$$

$$FC = \frac{E}{730 \times D} + D = \frac{E}{FC \times 730}$$

$$GM = \left(\frac{(T.P.) E}{FC \times 730} + (T.E.) E \right) \frac{0.9}{F.P.I}$$

$$GM = E \left(\frac{T.P.}{FC \times 730} + (T.E.) \right) \frac{0.9}{F.P.I}$$

Si consideramos impuestos el valor de la factura a pagar será :

$$GM_{\text{REAL}} = E \left(\frac{T.P}{FC \times 730} + T.E. \right) + 0.1 \text{ GM} + 300 + 30$$

I.E.R. B S

donde :

I.E.R. : Impuesto por electrificación rural.

B : Impuesto para cuerpo de bomberos.

S : Impuesto para seguro.

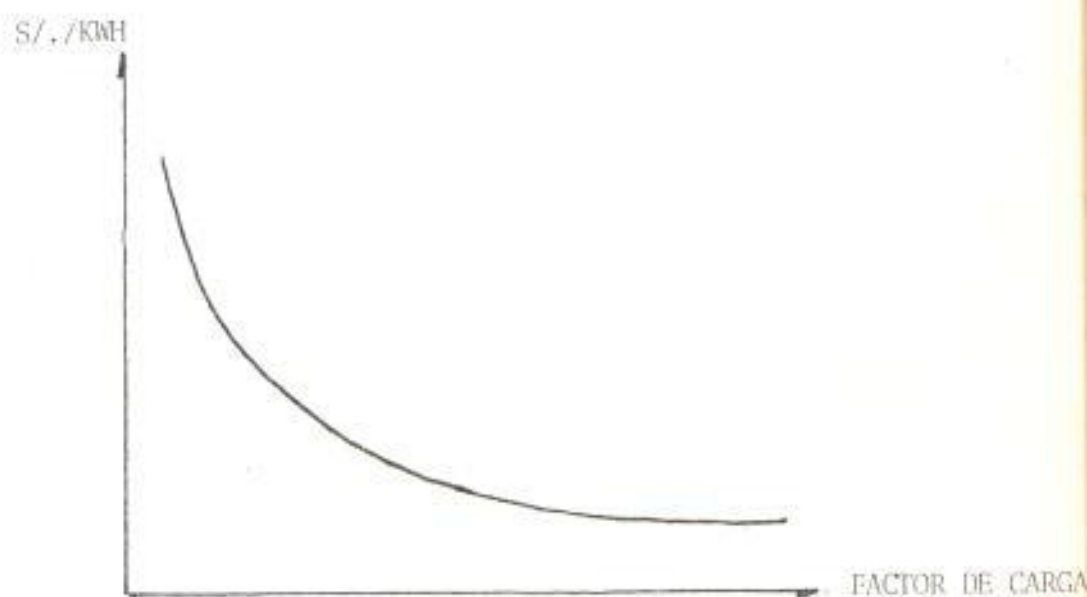


Fig. 15a INFLUENCIA DEL FACTOR DE CARGA SOBRE EL COSTO DEL KWH

VARIACION DE LA DEMANDA

La variación cronológica en la demanda de energía se la grafica, y entonces obtenemos lo que se denomina CURVA DE CARGA. En una carga industrial típica la variación es de la siguiente forma: a las 6 a.m. enciende algunos motores, calderos, etc., comienza a incrementarse, luego a las 8 a.m. se ha establecido la carga hasta el mediodía, en que disminuye (12 m.), luego a las 2 p.m. se incrementa nuevamente hasta las 5 p.m. para luego decrecer definitivamente hasta el próximo día a las 6 am.

Aquí vale mencionar lo siguiente, las pérdidas de energía en el sistema son proporcionales al cuadrado de la corriente, este hecho justifica la necesidad de programar las cargas a fin de mantener la corriente más o menos estable, ésta programación incluye arranque secuencial de la planta, desfase en el funcionamiento de los motores (o al menos en el arranque), traslado de ciertas operaciones no indispensables a ciertas horas de menor demanda (que lógicamente son de menor costo por unidad de energía), etc.

Los motivos anteriores y algún otro, tal como, la posibilidad de que una determinada sección de planta funcione en horas de menor demanda en la ciudad (en

las cuales el KW-H es más barato) se hace necesario incluir el pliego tarifario industrial que rige para esta zona; el cual está detallado en el Apéndice A.

1.2.1 CLASIFICACION

Las curvas de carga que son de mayor utilidad en el análisis energético de una fábrica son los siguientes : curva de carga cronológica, curva de duración de carga y curva de energía-carga.

a) CURVA DE CARGA CRONOLOGICA :

Como su nombre lo indica es la variación en la demanda a través de un período de tiempo; esta curva es necesaria para planear el sistema y estimar la operación del sistema (ver Fig. 1.6a).

b) CURVA DE DURACION DE CARGA :

Fundamentalmente esta curva no es más que un arreglo de todos los elementos de carga de la curva cronológica en orden de magnitud descendente. La Fig. 1.6b, muestra el método gráfico de construcción de la curva de duración.

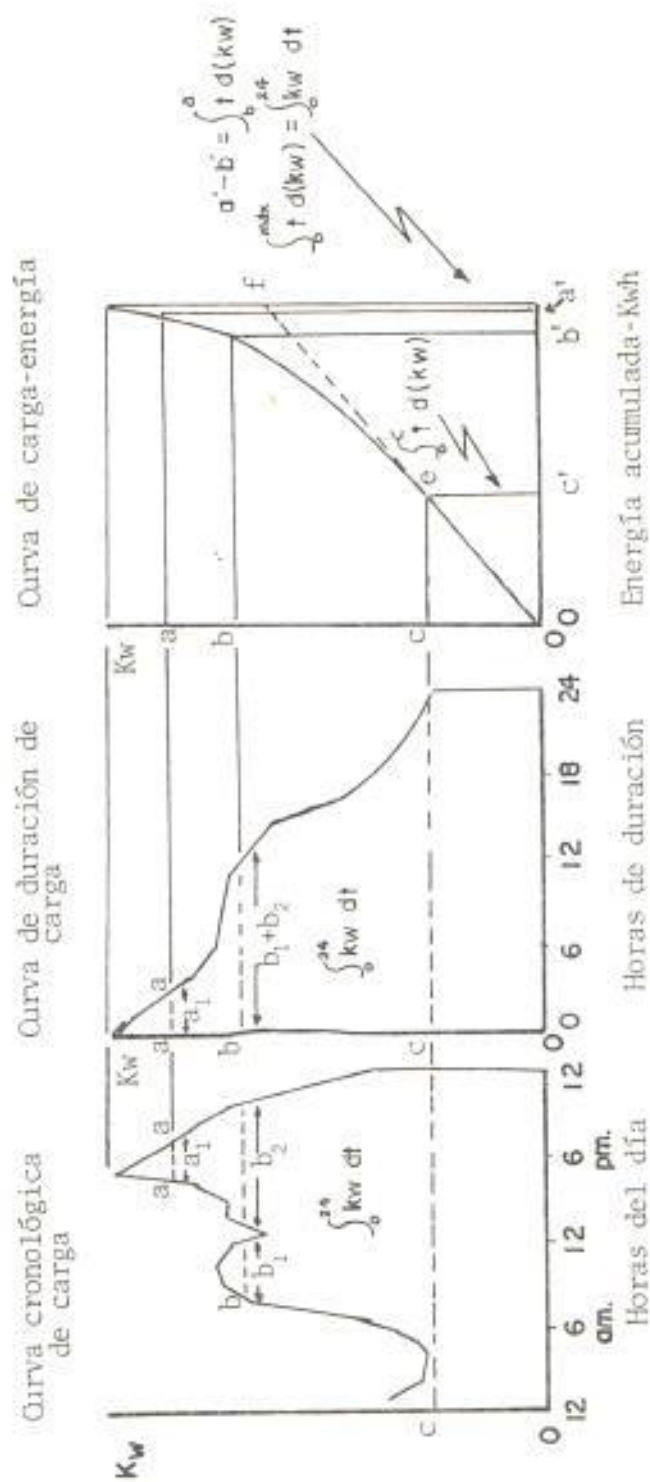


Fig. 1.6 CURVA CRONOLÓGICA DE CARGA Y SUS DERIVADAS : DE DURACION Y DE CARGA-ENERGIA.

c) CURVA DE CARGA-ENERGIA:

Esta curva grafica la integración acumulativa del área bajo la curva de carga, empezando a carga cero vs. la carga particular. Expresado matemáticamente, esto es un gráfico de

$$\int_0^{Kwh} t \, d(Kw) \text{ versus } Kwh,$$

donde t son las horas de duración.

Refiriéndonos a la Fig. 1.6c, la mínima carga para la curva de carga es cKw . Entre 0 y cKw , las integraciones sucesivas son directamente proporcionales a la carga, y la curva carga-energía es una recta entre estos límites. Para el siguiente elemento de carga arriba del mínimo cKw , el área elemental es menos que el área elemental a cKw . Por lo tanto la curva de carga-energía se desviará desde la recta y se subirá aumentando sucesivamente de pendiente hasta llegar al pico de carga.

1.2.2 UTILIZACION DE CURVAS DE CARGA.

-La CURVA DE CARGA CRONOLOGICA se la utiliza para estimar la planificación y operación

del sistema al expresar la variación en, y la integración de, así pues el área bajo la curva diaria de carga cronológica mide el total de energía consumida durante un día, esta energía es evaluada por

$$\int_0^{24} Kwdt \quad \text{siendo la unidad el Kw-h.}$$

-LA CURVA DE DURACION DE CARGA, se la utiliza cuando se necesita conocer los requerimientos de energía para un período de tiempo en una forma concisa, ya que aquí puede ser hecho gráficamente teniendo, lecturas de otra curva a punto-medio para cada período media hora y dividiendo para dos.

-LA CURVA DE CARGA-ENERGIA, se utiliza en sistemas de potencia que usan estaciones hidráulicas en que nosotros debemos conocer las cantidades de energía entre niveles de demanda dados sobre la curva carga. Por ejemplo, para encontrar la energía incluida entre los valores a Kw y bKw de carga sobre la curva de carga, encontramos la correspondiente energía a' y b' (Ver Fig. 1.6c), y entonces la cantidad total de energía será (a' - b') Kw-h.

Además extendiendo la porción de línea recta determinamos la carga promedio f , esta intersección representa en valor de carga que la curva cronológica y de duración tendrían si ellos fueran de forma rectangular y contendrá la misma energía.

1.3 METODOS DE EVALUACION ECONOMICA.

Toda reforma que se haga a fin de optimizar el uso de energía en una industria, tiene un costo que en unos casos puede ser bajo, mediano en otros y alto en algunos. Es por esto, que el proceso de inversión en adquisición de nuevos equipos y/o remodelación de instalaciones, es especialmente difícil y da lugar a un análisis detenido. Las decisiones en este campo comprometen a la empresa durante un período de tiempo considerable. Como una de las tres zonas básicas de la toma de decisiones: inversión, operaciones y financiación.

El PROCESO DE INVERSION, tiene mayor prolongación en el tiempo y se basa mayormente en predicciones cuidadosas y presunciones detalladas acerca de las probables condiciones futuras, que faciliten una ganancia económica que a su vez justifique el desembol

so de fondos proyectados.

Es fundamental reconocer que los cálculos económicos, para justificar, por ejemplo; una nueva máquina, la sustitución de una factoría anticuada, etc. Deben basarse en proyectos y previsiones de ingresos y costos futuros. El análisis de inversiones con perspectivas de tiempo de cinco, diez o incluso veinte y cinco años, se ocupa por completo de las condiciones futuras y de la incertidumbre que las rodea. Corresponderá, por tanto, al analista de una propuesta calibrar del mejor modo posible la incertidumbre relativa que rodea los presupuestos, y talvéz realizar el análisis en diferentes condiciones supuestas, si la incertidumbre es muy grande.

- Una definición detallada del problema y de las alternativas sometidas a análisis es igualmente importante para asegurar unos resultados de cálculo apropiados.

Por ejemplo, la sustitución de una máquina, que se aproxima al final de su vida útil, no es un problema simple. Como norma general, hay diversas alternativas, y las circunstancias específicas pueden indicar un número aún mayor. La alternativa más evidente es no hacer nada y continuar reparando la máquina

hasta que caiga a pedazos.

• El rendimiento mejorado de una nueva máquina o planta puede elevar el resultado de beneficios de un producto desde escaso a medio; con todo, puede existir otras alternativas de colocar los fondos destinándoles a un uso más rentable.

Aun cuando se haya tomado la decisión de sustituir, todavía quedan alternativas. La sustitución por otra máquina similar o mayor, o un modelo más automático o que utilice un proceso de fabricación diferente constituye algunas de las posibles elecciones.

El razonamiento económico que acompaña a cualquier desembolso de capital se basa en las condiciones que cambiarían como consecuencia de la medida adoptada.

1.3.1 TÉCNICAS DE ANALISIS PARA MEDIDAS DE BAJO COSTO.

Previo a entrar en las técnicas propiamente dichas se presenta una exposición clara de conceptos básicos que nos van a ser muy útiles en lo futuro.

INVERSION NETA :

Hace referencia al desembolso neto: necesida-

des totales de capital menos capital recuperado por transacción o venta del activo existente.

Si hay recuperación sustancial de capital al final del período de análisis, debe hacerse también cierto descuento por ese concepto. Si similarmente, si se precisan desembolsos adicionales de capital durante el período para el proyecto esto tendrá que ser reflejado en la cifra de inversión neta.

FLUJO DE CAJA OPERATIVO :

• Son los beneficios económicos netos, período por período que son causados por una inversión, estos elementos que incluyen la deducción de impuestos son por ejemplo, los ahorros de explotación provocados por la sustitución de una máquina, los beneficios adicionales obtenidos por una serie de productos, el incremento en beneficios por expansión de planta. Estos beneficios económicos se transforman normalmente en un flujo de caja deducido impuestos.

DURACION ECONOMICA :

La duración económica de un proyecto es el período de tiempo durante el cual puede esperarse la obtención de beneficios derivados de la propuesta de inversión. Esto es el tercer elemento del proceso inversionista. Es muy importante distinguir este período de tiempo relevante de la duración física de un equipo o la duración tecnológica de un proceso específico aun cuando, físicamente, un edificio o pieza de equipo puede ser perfectamente utilizable, la duración económica ha cesado si se ha extinguido el mercado para el producto.

¿Cómo relacionamos estos elementos básicos: inversiones, flujo de caja operativo, y duración para hallar la atracción de un proyecto? Para esto se emplean a menudo dos métodos simples: período de repago o período de recuperación de la inversión; y retorno de la inversión o rentabilidad.

a) PERIODO DE REPAGO :

Esta medición consiste en una simple relación del beneficio anual de un proyecto

con la inversión requerida.

$$\text{RECUPERACION} = \frac{\text{Inversión Neta}}{\text{Flujo de caja operativo anual medio}}$$

(1.17)

El resultado del cálculo es el número de años requeridos para lograr el reembolso del gasto original. Cuando se relaciona con la duración económica, la cifra de recuperación de la inversión es utilizada como una indicación sobre si la inversión será reembolsada dentro de la duración económica.

Aunque es fácil calcular el período de recuperación -lo que explica posiblemente su popularidad-, surgen algunas cuestiones difíciles en su utilización. En primer lugar, el concepto mide el rendimiento de la inversión original con respecto a plazos. (¿Cuánto tiempo transcurrirá para que recobre mi dinero?) es la pregunta implícita, desde un punto de vista económico no es suficiente.

Pasemos a considerar un ejemplo simplifica

do. Se espera que una inversión de s/. 10'000.000 en nuevas instalaciones para una fábrica proporcione unos beneficios netos en flujo de caja de 2'500.000 sucres durante un período de 6 años, sin fluctuaciones anuales significativas. Aunque el equipo no estará completamente desgastado después de 6 años, es improbable que se obtenga algo más que el valor residual como consecuencia de la obsolescencia técnica. Se espera que el costo de evaluación anule este valor residual. La depreciación a lo largo de los 6 años ha sido apropiadamente considerada en la cifra de s/. 2'500.000.

En este ejemplo la recuperación será :

$$\text{Recuperación} = \frac{10'000.000}{2'500.000} = 4 \text{ años}$$

Aquí el período de recuperación es insuficiente para tomar una consideración, un rendimiento económico sobre el importe de la inversión. Hemos de acudir a los años posteriores al reintegro si queremos lograr algún beneficio. En efecto, si hubiera de coincidir con precisión la duración económica y la recuperación, se produciría

una pérdida de oportunidad, ya que los mismos fondos invertidos en otra parte hubieran logrado presumiblemente algún rendimiento.

Otra desventaja de la medición de recuperación es su incapacidad de aplicación a proyectos con esquemas variantes del flujo de caja. Toda vez que se supone un flujo de caja operativo anual medio, no quedará reflejado adecuadamente un proyecto con unos esquemas de flujo de caja de progresión creciente o decreciente. La sustitución de una máquina mostrará normalmente ahorros crecientes a medida que empeore la máquina existente. Como fórmula de uso práctico se puede calcular el período de repago de la siguiente forma :

$$P = \frac{A}{C - B} \quad (1.18)$$

donde:

A : Costo inicial para poner en práctica la medida.

B : Costo (anual) de "operación" de la misma.

C : Ahorro (anual) estimado en costos de energía.

P : Pé^{ri}odo de repago.

Como se nota aqu^í tambieⁿ, en ning^un momen^{to} se toma en cuenta a los costos del inte^rés y los ahorros de energ^ía más allá del período de repago, lo cual es aceptable si dicho período es corto (menos a 2 años).

b) RETORNO DE LA INVERSION :

Esta medici^on es un resultante del razonamiento de recuperaci^on de la inversi^on, y representa lo inverso de la fórmula de recuperaci^on. Es un intento de expresar la conveniencia econ^omica de un proyecto de inversi^on en cuanto a un rendimiento porcentual sobre el desembolso original.

Sin embargo, el método participa de todos los inconvenientes del criterio de recuperaci^on, pues pone en relaci^on únicamente dos de los tres aspectos de un proyecto inversi^on neta y flujo de caja operativo y deja fuera la duraci^on.

$$\text{RETORNO DE LA INVERSION} = \frac{\text{Flujo de caja operativo anual medio}}{\text{Inversi^on neta}}$$

(1.19)

$$= \frac{2'500.000}{10'000.000} = 25\%$$

Sin referencia alguna a la duración económica y sin reconocimiento del hecho de que, como en una cuenta de ahorros, los reintegros regulares de efectivo reducirán el saldo del principal, todo lo que indica la medición es que s/. 2'500.000 es el 25% de s/. 1'000.000. Obsérvese que se hubiera obtenido la misma respuesta si la duración económica fuera 1 año, 10 años ó 100 años. De hecho, el dato hubiera sido cierto en un sentido económico sólo si la inversión facilitara s/. 2'500.000 al año a perpetuidad. Sólo entonces podríamos hablar de un rendimiento de 25% verdadero.

En forma más clara éste indica y se define como :

$$R(\%) = 100 \frac{(C-B) - \text{depreciación}}{A} \quad (1.20)$$

Donde A, B y C son las mismas de (1.18).

El rubro de depreciación representa la pérdida de valor de los equipos a instalar.

La depreciación puede calcularse simplemente dividiendo su costo inicial por la vida útil.

1.3.2 TECNICAS DE ANALISIS PARA MEDIDAS DE MEDIANO Y ALTO COSTO.

Como norma general, la sofisticación del análisis de factibilidad económica debe aumentar con el costo inicial de la medida examinada.

El análisis de las medidas de mediano y alto costo ha de tomar en cuenta los siguientes factores : Intereses, actualización del flujo de caja, depreciación, evolución del precio de la energía y otros insumos, impuestos, incentivos arancelarios y tributarios, monto del capital requerido y su financiamiento.

a) VALOR TEMPORAL DEL DINERO.

El principio más importante para evaluar medidas de mayor costo es que el dinero tiene un valor que depende del tiempo.

Hasta aquí hemos descrito el análisis de una inversión como inclusivo de una dife-

rencia favorable entre los desembolsos monetarios actuales y los futuros beneficios en un período de tiempo. El sentido común nos dicta que el empresario no puede ser indiferente entre unas propuestas, en otros aspectos exáctamente comparables, cuya época de beneficios varía en gran medida. Unos beneficios más inmediatos serán preferibles a los beneficios cuya obtención se prolongue más en el tiempo, aún cuando el riesgo y la incertidumbre sean comparables.

El sentido común prescribe que la elección entre un gasto en la actualidad en comparación con el mismo desembolso realizado dentro de algún tiempo será diferir el gasto, ya que, normalmente, existe la oportunidad de lograr un beneficio sobre los fondos en el espacio intermedio. Dicho de otra forma, el dinero tiene un valor claramente relacionado con la época de su ingreso o desembolso, y ese valor está determinado por la oportunidad de obtener ganancias con una inversión normal.

Podemos ilustrar esta idea con un ejemplo

sencillo :

Si un industrial utiliza normalmente una cuenta de ahorro que le rinde 25% anual, s/. 10'000.000 que le sean ofrecidos e invertida hoy pasarán a s/. 12'500.000, dentro de un año. Si nuestro industrial se viera obligado a esperar un año para recibir los s/. 10'000.000, hubiera perdido la oportunidad de ganar s/. 2'500.000; sin discusión, una suma de s/. 10'000.000, que le sea ofrecida dentro de un año tendrá menos valor para él que la misma cantidad dada hoy. Específicamente, el valor de los s/.10'000.000 diferidos estará relacionado con su poder de ganancias del 25%, y podemos el valor actual de los s/. 10'000.000 de la forma siguiente :

$$\text{Valor actual} = \frac{10'000.000}{1,25} = 8'000.000$$

Resulta evidente que los s/. 8'000.000 debe ser el importe que, invertido al 25% anual hoy, valdrá s/. 10'000.000 al finalizar un año a partir de hoy. La diferencia favorable está, pues, determinada por el espacio de tiempo y la capacidad productiva disponible.

Similarmente, una prolongación el período de tiempo para el ingreso o desembolso reducirá el valor actual de una suma de dinero. Una suma de s/. 10'000.000 recibida dentro de 5 años valdrá hoy sólo 3'276.800, puesto que esta cantidad, invertida hoy al 25%, pasaría a ser s/. 10'000.000 en el transcurso de 5 años. La cifra fue obtenida mediante el siguiente cálculo :

$$\frac{10'000.000}{3.0518} = 3'276.800$$

Que relaciona s/. 10'000.000 con su valor capitalizado al 25% de aquí a cinco años. Nos referimos al cálculo del valor actual como descuento que es la operación inversa del método de interés compuesto aplicado a un crecimiento en valor de la inversión con motivo de ingresos periódicos de intereses, que son reinvertidos. A través de este razonamiento podemos determinar, en un punto del tiempo cualquiera, el valor de un ingreso o desembolso.

La transformación de los flujos de caja en valores actuales es considerablemente faci

litado por el uso de la Tabla del valor actual; la tabla se basa en los conceptos previamente tratados, y presenta los resultados de descontar una suma de dinero recibida o desembolsada a fin de año, utilizando un período de interés anual. La fórmula general es :

$$\text{Valor actual} = \frac{1}{(1 + i)^n} \quad (1.21)$$

donde:

i : Tipo de interés (descuento)

n : Número de períodos de descuento.

Para un número cualquiera de períodos hasta 20 años y tipo de descuento del 15 al 50%, podemos hallar el valor actual de una suma de dinero multiplicando simplemente el importe en cuestión por el factor apropiado de la Tabla 1.

b) ANALISIS DEL VALOR PRESENTE :

En esta técnica lo que se hace es contabilizar todos los ahorros y gastos, expresados en valores descontados, que origine la medida analizada durante su vida útil. A

Períodos hasta el pago	15%	16%	18%	20%	22%	24%	25%	26%	28%	30%	35%	40%	45%	50%
1	0.870	0.862	0.847	0.833	0.820	0.806	0.800	0.794	0.781	0.769	0.741	0.714	0.690	0.667
2	0.756	0.743	0.718	0.694	0.672	0.650	0.640	0.630	0.610	0.592	0.549	0.510	0.476	0.444
3	0.658	0.641	0.609	0.579	0.551	0.524	0.512	0.500	0.477	0.455	0.406	0.364	0.328	0.296
4	0.572	0.552	0.516	0.482	0.451	0.423	0.410	0.397	0.373	0.350	0.301	0.260	0.226	0.198
5	0.497	0.476	0.437	0.402	0.370	0.341	0.328	0.315	0.291	0.269	0.223	0.186	0.156	0.132
6	0.432	0.410	0.370	0.335	0.303	0.275	0.262	0.250	0.227	0.207	0.165	0.133	0.108	0.088
7	0.376	0.354	0.314	0.279	0.249	0.222	0.210	0.198	0.178	0.159	0.122	0.095	0.074	0.059
8	0.327	0.305	0.266	0.233	0.204	0.179	0.168	0.157	0.139	0.123	0.091	0.068	0.051	0.039
9	0.284	0.263	0.225	0.194	0.167	0.144	0.134	0.125	0.108	0.094	0.067	0.048	0.035	0.026
10	0.247	0.227	0.191	0.162	0.137	0.116	0.107	0.099	0.085	0.073	0.050	0.035	0.024	0.017
11	0.215	0.195	0.162	0.135	0.112	0.094	0.086	0.079	0.066	0.056	0.037	0.025	0.017	0.012
12	0.187	0.168	0.137	0.112	0.092	0.076	0.076	0.062	0.052	0.043	0.027	0.018	0.012	0.008
13	0.163	0.145	0.116	0.093	0.075	0.061	0.055	0.050	0.040	0.033	0.020	0.013	0.008	0.005
14	0.141	0.125	0.099	0.078	0.062	0.049	0.044	0.039	0.032	0.025	0.015	0.009	0.006	0.003
15	0.123	0.108	0.084	0.065	0.051	0.040	0.035	0.031	0.025	0.020	0.011	0.006	0.004	0.002
16	0.107	0.093	0.071	0.054	0.042	0.032	0.028	0.025	0.019	0.015	0.008	0.005	0.003	0.002
17	0.093	0.080	0.060	0.045	0.034	0.026	0.023	0.020	0.015	0.012	0.006	0.003	0.002	0.001
18	0.081	0.069	0.051	0.038	0.028	0.021	0.018	0.016	0.012	0.009	0.005	0.002	0.001	0.001
19	0.070	0.060	0.043	0.031	0.023	0.017	0.014	0.012	0.009	0.007	0.003	0.002	0.001	0.001
20	0.061	0.051	0.037	0.026	0.019	0.014	0.012	0.010	0.007	0.005	0.002	0.001	0.001	0.001

TABLA I VALOR ACTUAL DE S/... 1

los ahorros se les asigna un valor positivo y a los costos uno negativo. La inversión inicial también se incluye como un costo. La contabilización es una suma algebraica cuyo resultado se denomina valor presente.

El valor presente debe ser siempre positivo lo cual significa un beneficio final. Su monto indica la bondad de la medida frente a otros beneficios de la empresa. *El análisis debe incluir en lo posible previsiones sobre evolución de precios de energía y otros insumos, así como impuestos e incentivos fiscales (si los hubiere).

Supongamos el siguiente flujo de fondos de una medida (un proyecto) tendiente a ahorrar energía y sus valores actualizados a una tasa del 5% (ver Tabla II).

Esta medida o proyecto se preferiría a otras cuyos beneficios actualizados sean menores de 343 aunque el beneficio corriente sea igual o mayor que 750. El beneficio neto actualizado de un proyecto es lo que se conoce como el VALOR PRESENTE NETO o

PERIODO	VALORES CORRIENTES			FACTOR DE ACTUALIZACION	VALORES ACTUALES		
	INVERSION	INGRESOS	GASTOS		INVERSION	INGRESOS	GASTOS
	K	I	G		K	I	G
0	-400	-	-	-	-400	-	-
1	-400	-	-	$1/(1 + 0.05)$	-380	-	-
2	-200	300	-150	$1/(1 + 0.05)^2$	-180	270	135
3	-	350	-150	$1/(1 + 0.05)^3$	-	301	129
4	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^4$	-	328	164
5	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^5$	-	312	156
6	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^6$	-	300	150
7	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^7$	-	284	142
8	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^8$	-	268	134
9	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^9$	-	256	128
10	-	400	-200	$1/(1 + 0.05)^{10}$	-	244	122
TOTAL :	-1000	+3,450	-1,700		-960	+2,563	-1,260
BENEFICIO NETO CORRIENTE : 750 ⁽¹⁾				BENEFICIO NETO ACTUALIZADO: 343			

TABLA II FLUJO DE FONDOS DE UN PROYECTO.

⁽¹⁾ Esto no es un valor real del beneficio obtenido, ya que los valores corrientes son en diferentes periodos, y no se pueden comparar por lo tanto se necesita un periodo de referencia.

VAN del proyecto.

c) TASA INTERNA DE RETORNO (T.I.R.) :

El principal problema que plantea el método del VAN al evaluar proyectos, es la dificultad de escoger una tasa de corte o tasa de actualización como base de la decisión.

Es claro que esta tasa debe coincidir con el valor de la tasa de interés de la economía en ese momento. Otros proponen que sea la tasa de interés del mercado, la cual a mediano plazo es la que más se aproxima al valor del costo del capital. Lo que importa es que este costo del capital sea la base de la tasa de descuento utilizada. En realidad el costo de capital C_k , o costo de oportunidad del capital, es para un industrial la ganancia que él pierde teóricamente por utilizar el capital de un proyecto.

El empleo de la tasa interna de retorno (TIR) evita el dilema de seleccionar una tasa de corte, pues ella ya es en sí misma

una tasa de actualización muy especial para lo cual el valor actual de los beneficios o utilidades de un proyecto son iguales a las inversiones y gastos, es decir la T.I.R. es la tasa $-r-$ que hace cero al VAN :

Si la T.I.R. es mayor que el CK del proyecto, puede decirse que éste es rentable, siéndolo más cuanto mayor sea el valor de $-r-$, para $T.I.R. = CK$, los beneficios económicos de la medida se igualan a los egresos o inversiones sin ninguna utilidad. Por último, para $TIR < CK$. El proyecto no es conveniente y debe ser descartado. Lo anterior se representa gráficamente en la Fig. 1.7.

Tratándose de varios proyectos, la decisión se toma sobre aquel con mayor T.I.R.

CALCULO DEL T.I.R. :

Supongamos un proyecto con los siguientes flujos de fondos :

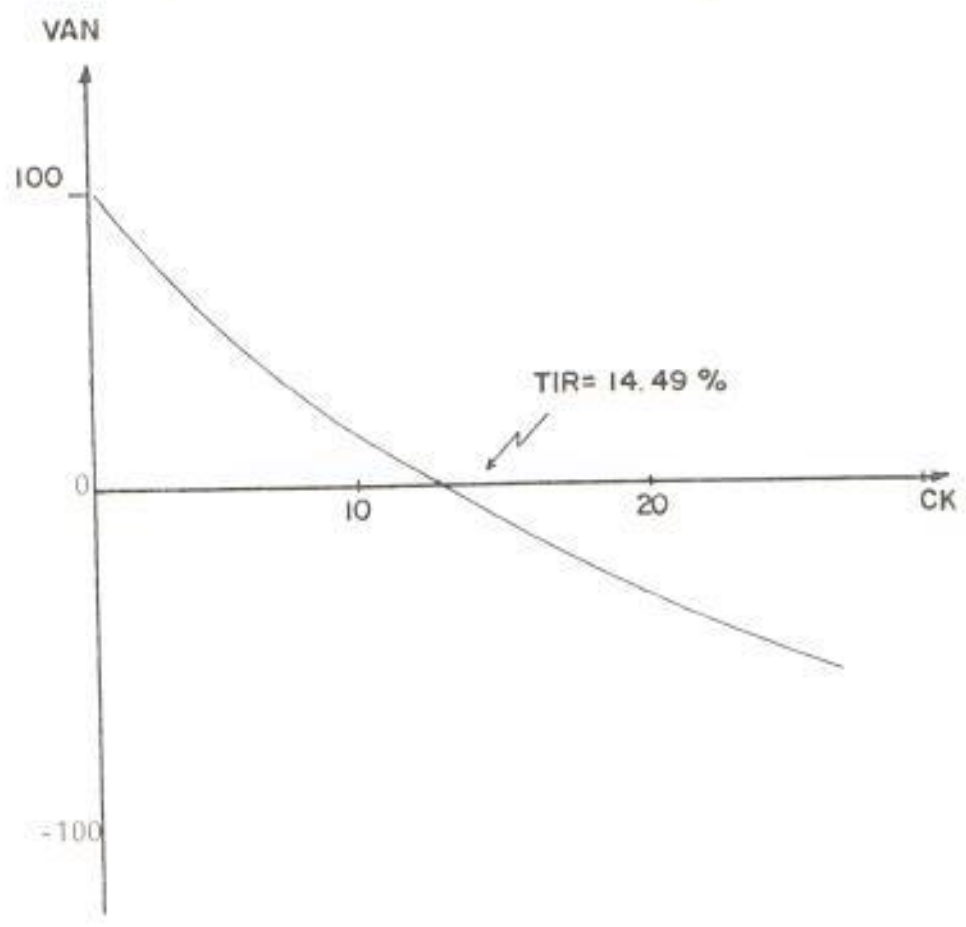


Fig. 1.7 VAN versus CK

<u>PERIODO</u>	<u>FLUJO DE FONDOS</u>
0	- K_0 (inversión inicial)
1	K_1
2	K_2
·	·
·	·
·	·
n-1	K_{n-1}
n	K_n (valor residual, fin del proyecto).

La inversión inicial tiene signo negativo porque representa un egreso de dinero para el arranque del proyecto. Los flujos de los períodos subsecuentes (normalmente años) pueden ser positivos o negativos, dependiendo si el proyecto genera utilidades o pérdidas, o si se realizaron nuevas inversiones en el período considerado.

Por definición, si consideramos los flujos anteriores se puede expresar :

$$-\frac{K_0}{(1+r)^0} + \frac{K_1}{(1+r)^1} + \frac{K_2}{(1+r)^2} + \frac{K_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{K_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} + \frac{K_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (1.22)$$

por su equivalente,

$$K_n x^n + K_{n-1} x^{n-1} + \dots + K_2 x^2 + K_1 x - K_0 = 0 \quad (1.23)$$

donde:

$$x = \frac{1}{1 + r} \quad (1.24)$$

La expresión (1.23) es un polinomio de grado $-n$ cuya solución matemática presenta dificultad creciente conforme aumenta $-n$ en estos casos es normal asignar a r (y por tanto a x) un valor arbitrario y probar este valor en (1.23), se continúa el tanteo hasta que (1.23) queda satisfecha, siendo el último valor de r utilizado, la tasa interna para el proyecto.

Los valores descontados en (1.23) se encuentran en tablas financieras. Este método de prueba y error es largo e impráctico; especialmente para proyectos de larga duración.

Un método iterativo de solución aplicable al uso de computador es el de aproximación cuadrática de Newton que consiste en asignar como en el método "manual" un valor inicial arbitrario razonablemente estimado.

Este valor es empleado en las siguientes

fórmulas iterativas en donde x , definido en (1.24), representa el valor del momento y las K 's representan los diferentes flujos de fondos para cada período :

$$\begin{array}{ll}
 a_n = K_n & b_n = a_n \\
 a_{n-1} = K_{n-1} + x a_n & b_{n-1} = a_{n-1} + x b_n \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 a_2 = K_2 + x a_3 & b_2 = a_2 + x b_3 \\
 a_1 = K_1 + x a_2 & b_1 = a_1 + x b_2 \\
 a_0 = K_0 + x a_1 &
 \end{array}
 \tag{1.25}$$

El nuevo valor de " x " después de cada iteración, estará dado por :

$$x \text{ nuevo} = x \text{ ant.} - \frac{a_0}{b_1}
 \tag{1.26}$$

Y será el que se utilice en (1.25) en los nuevos cálculos para generar cada vez un valor más exacto de x .

Cuando la variación de " x " entre dos iteraciones sucesivas es despreciable, se toma el último valor encontrado y se determina " r " en (1.24). Como ejemplo, calculemos

el TIR para un proyecto con los siguientes flujos :

<u>AÑOS</u>	<u>FLUJO DE FONDOS</u>
0	- 1.000
1	500
2	400
3	300
4	100

Según (1.23) el polinomio a resolver es :

$$100 x^4 + 300 x^3 + 400 x^2 + 500 x - 1000 = 0$$

Una primera estimación razonable para la TIR es $r = 0.12$ de donde un valor inicial de "x" será $x = 0.9$. Luego de 3 iteraciones utilizando (1.25) (Ver Apéndice B) el valor hallado es $x = 0,87345$ de donde $r = 0,1449$ o TIR = 14,49%.

d) ANALISIS COMBINADO :

Conocemos que el análisis del valor presente y el de la T.I.R. tienen muchos puntos en común, se recomienda que para tener una mejor evaluación de un determinado proyec-

to se debe realizar ambos métodos sucesivamente, de esta forma se tendrá una evaluación tanto del beneficio total de la medida como de la eficiencia en el uso de capital.

El mejor uso del V.A.N. es como dispositivo de tamiz primario para asegurar si puede obtenerse, durante su vigencia económica, un nivel de ganancias mínimo; en este momento cuando se debe continuar con el análisis de la T.I.R., ya que éste no plantea la dificultad que tiene el V.A.N., el cual necesita el denominador de una razón (VAN por unidad de costo) para poder comparar varios proyectos. Al ser la T.I.R. en sí misma una tasa de rendimiento, la comparación entre proyectos es inmediata.

1.3.3 EVALUACION DE RIESGO.

El riesgo de que una medida se vuelva poco rentable o contraproducente se debe a la incertidumbre de acontecimientos futuros. La evaluación del riesgo consiste en determinar el efecto de variaciones supuestas en las hi-

pótesis de cálculo sobre la rentabilidad de las medidas.

Se puede analizar los efectos de cambios en el precio de energía, en los ahorros de energía a alcanzar, en la tasa de descuento, en el factor de carga de la instalación propuesta, etc.

a) ANALISIS DE SENSIBILIDAD :

Este análisis evalúa cuan sensibles son el valor presente y la tasa interna de retorno, frente a cambios de aquellas hipótesis de cálculo que presenten mayores probabilidades y/o rango de variación.

El procedimiento consiste en realizar los análisis de valor presente y tasa interna de retorno, cambiando una hipótesis de cálculo cada vez al valor mínimo y/o máximo de variación probable.

• Una alta fluctuación del valor presente y de la TIR, ante variaciones menores de una o más hipótesis, indica que la aplicación de la medida examinada es riesgosa.

b) PERIODO DE REPAGO :

El período de repago, técnica ya descrita en la sección 1.3.1, punto "a", sirve también para evaluar el riesgo. En general, las medidas que muestran largos períodos de repago presentan mayores riesgos, ya que aumentan las probabilidades de cambios no previstos.

c) PUNTO DE EQUILIBRIO :

En muchas ocasiones, el factor de carga previsto para la instalación propuesta es una hipótesis importante. Para medir el riesgo de pérdidas por un factor de carga menor, se emplea una "tasa de seguridad", definida como :

$$TS = \frac{\text{Factor de carga previsto}}{\text{Factor de carga de equilibrio}} \quad (1.27)$$

El divisor de esta ecuación se calcula con el conocido método del punto de equilibrio. En este caso, se trata de encontrar aquel factor de carga que iguale los ahorros a los costos totales (Fig. 1.8).

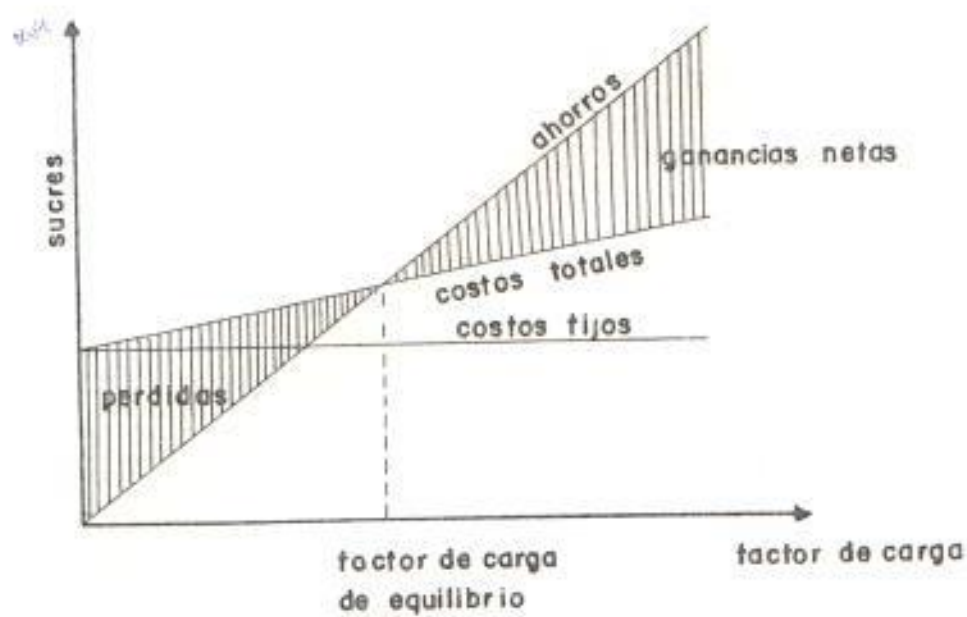


Fig. 1.8 DETERMINACION DEL FACTOR DE CARGA DE EQUILIBRIO.

El riesgo de una medida aumenta según su TS disminuye acercándose a la unidad. De hecho, un TS menor a la unidad indica pérdidas económicas por un insuficiente aprovechamiento de la instalación propuesta.

CAPITULO II

SELECCION, APLICACION Y MANTENIMIENTO DE MOTORES ELECTRICOS

A continuación se trata un tema de gran interés, como es la selección adecuada de motores eléctricos, esto es de gran importancia, ya que en la práctica se suele seleccionar un motor de una manera empírica trayendo como consecuencia el sobre o subdimensionamiento del mismo, en cuyo caso resultan pérdidas de energía considerables por concepto de exceso de velocidad, bajo rendimiento, bajo factor de potencia, etc.

Para poder desarrollar y comprender lo siguiente de éste capítulo se hace necesario una rápida revisión de los fundamentos de máquinas D.C. y A.C.

2.1 CONCEPTOS BASICOS DE MAQUINAS ROTATIVAS:

2.1.1 MAQUINAS D.C.

El circuito modelo de generador y motor D.C. es mostrado en la Figura 2.1.

El voltaje generado E_g es proporcional a la velocidad (ω) en el eje y el flujo del campo (ϕ). La constante de proporcionalidad (K_V)

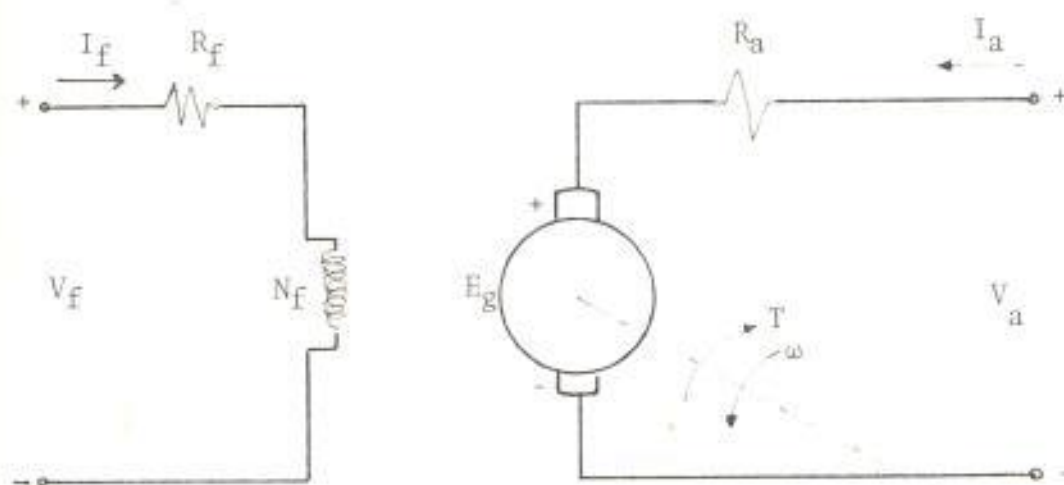


Fig. 2.1 CIRCUITO MODELO DEL MOTOR D.C. (T_e I_a son en sentido contrario en el generador)

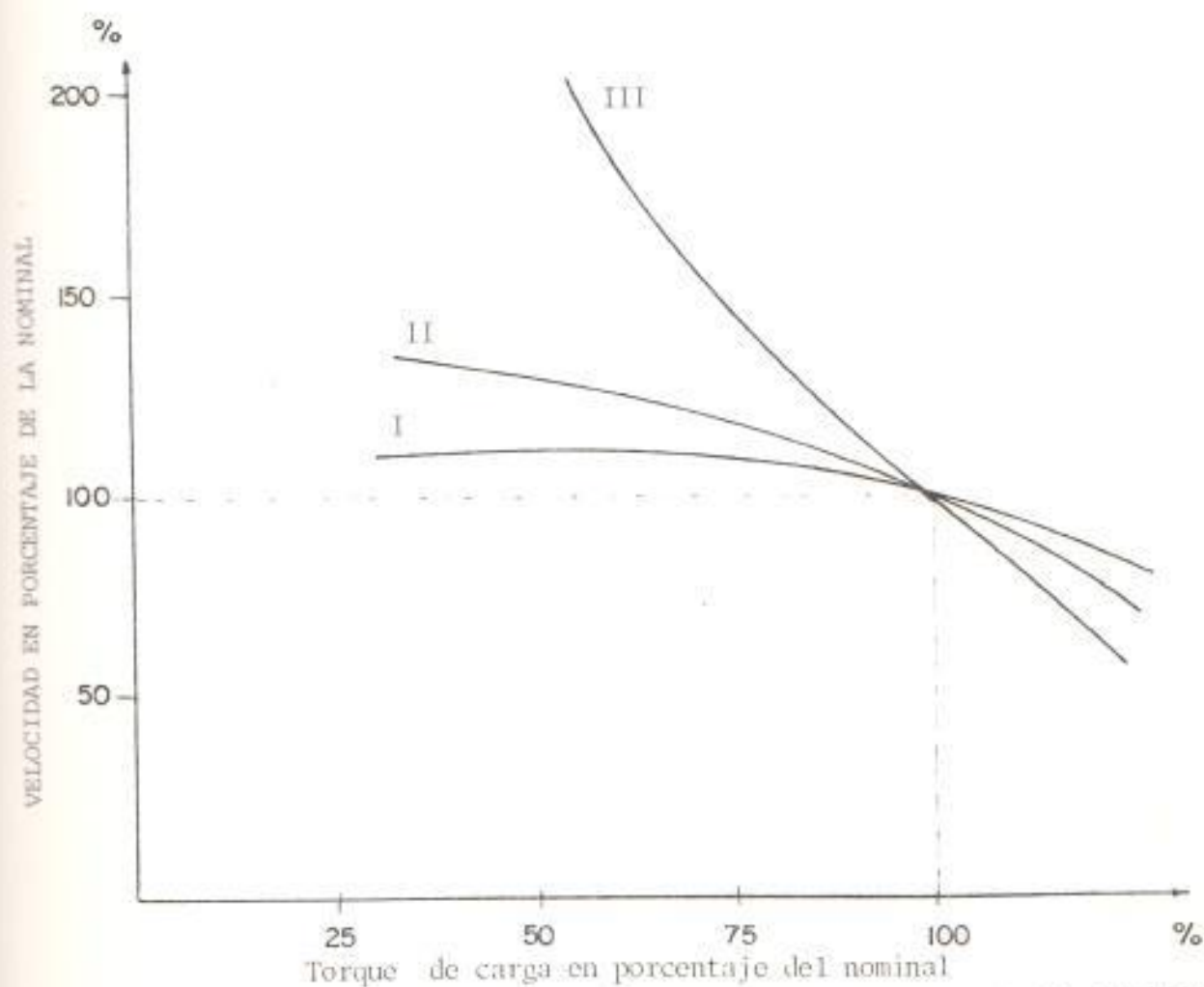


Fig. 2.2 CARACTERÍSTICAS TORQUE-VELOCIDAD PARA MOTORES D.C. (I) DERIVACION Y CON EXCITACION SEPARADA (II) COMPUESTO (III) SERIES .

es aproximadamente igual al número de vueltas serie entre las escobillas del conmutador (cuando la velocidad es dada en R.P.M., la constante K_V debe ser multiplicada por $30/\pi$).

$$E_g = K_V \phi \omega \quad (2.1)$$

$$K_V = N r \quad (2.2)$$

La conversión electro-mecánica de energía puede ser descrita por expresiones eléctricas y mecánicas. La potencia mecánica es usualmente dada en caballos de potencia, mientras que el torque está dado en lb-pie, su expresión es la siguiente :

$$P_{\text{me}} = E_g \cdot I_a = T \omega \quad (2.3)$$

De las ecuaciones (2.1) y (2.3), la relación entre la corriente de armadura y el Torque es:

$$T = K_T \phi I_a \quad (2.4)$$

En el sistema MKS

$$K_T = K_V = N r.$$

Si es usado mezcla de unidades, entonces debe ajustarse K_T . Si el torque está dado en lb-pie,

entonces.

$$(\text{Ten N} - \text{m}) \times 0,7376 = \text{Ten lb-pie} \quad (2.5)$$

a) MOTORES D.C.

El comportamiento del motor está dado por las curvas del torque-velocidad. Las curvas representativas de torque-velocidad para cuatro tipos de motor son mostrados en la Fig. 2.2.

A continuación se describe las características principales de cada uno de los motores de corriente continua.

MOTOR EN DERIVACION :

A este motor se lo denomina como motor de velocidad constante porque su velocidad varía sólo ligeramente con la carga. Sin embargo, su característica más estimable es la de ser también un motor de velocidad regulable. Cuando se le provee de resistencias de control adecuadas; puede proporcionar una regulación de velocidad precisa en un amplio margen, y en esto se basa su principal aplicación.

La regulación de velocidad puede estudiarse mejor utilizando la ecuación de velocidad :

$$R.P.M. = \frac{E_t - I_a \cdot R_a}{K\Phi} \quad (2.6)$$

Cuando el motor se conecta a una tensión de línea constante E_t , como muestra la Fig. 2.3 y con el reostato de campo colocado en resistencia cero, se obtiene la velocidad de pleno campo o velocidad fundamental; para obtener velocidades mayores se intercala resistencia en la bobina de campo a fin de disminuir el flujo. Para obtener velocidades menores a la de pleno campo, debe disminuirse la tensión E_t , como lo muestra la Fig. 2.4 intercalando resistencias en serie con el inducido.

Con el control de campo se consigue velocidades definidas, superiores a la fundamental, que son aproximadamente independiente de la carga, y todos los cambios de velocidad se efectúan sin disminuir el rendimiento.

Con el control de velocidad por resistencia de inducido, se perjudica el rendimiento del motor en la misma proporción que disminuye la

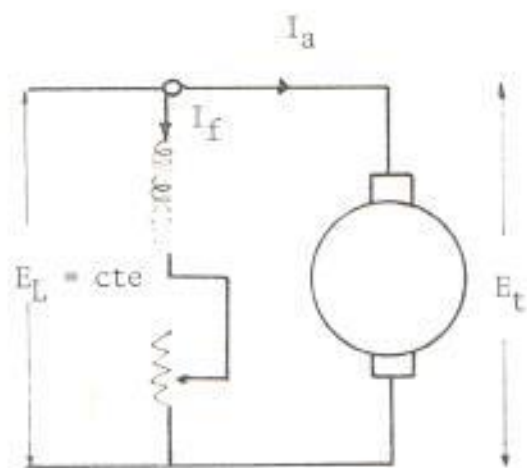


Fig.2.3 RESISTENCIA INTERCALADA EN CAMPO.

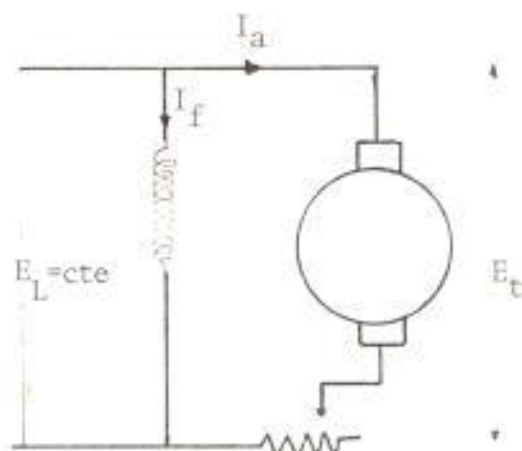


Fig.2.4 RESISTENCIA INTERCALADA EN EL INDUCIDO.

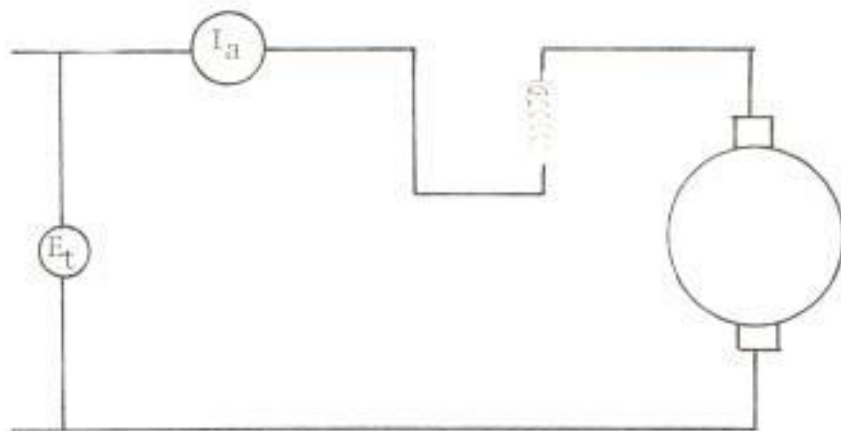


Fig. 2.5 E_t ES CONSTANTE Y AUMENTA CON I_a .

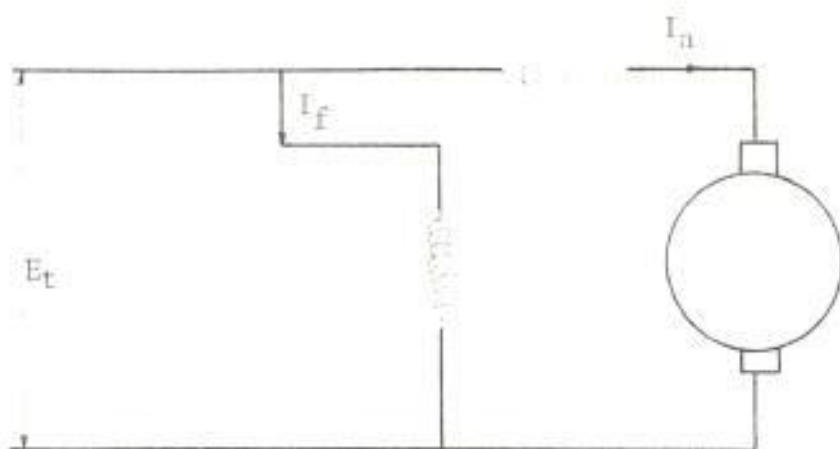


Fig. 2.6 MOTOR SERIE

velocidad, esto limita grandemente su posibilidad de aplicación y hace que, en general, se emplee sólo para reducciones de velocidad durante corto tiempo, excepto en el caso de pequeños motores, en los cuales la cantidad de energía que interviene no es importante.

MOTOR SERIE :

Este motor es usado en aplicaciones de velocidad variable donde el torque de arranque es de fundamental importancia. Su diagrama de conexión lo muestra la Fig. 2.5.

La tensión aplicación E_t es constante, mientras que la excitación de campo aumenta con la carga, puesto que la corriente del inducido es también la corriente excitadora.

El par producido, $K_t \phi I_a$, es directamente proporcional al flujo ϕ por polo y a la corriente en el inducido. Ahora bien: ϕ aumenta con I_a , puesto que ésta es también la corriente de excitación, y si el circuito magnético de la máquina no está saturado, es directamente proporcional a I_a , y el par motor es propor-

cional, a $(I_a)^2$; pero en un motor real donde existe saturación el torque es casi proporcional a $(I_a)^2$.

Para arranques difíciles el motor serie resulta superior a la derivación, puesto que requiere tomar menos corriente de línea.

Es importante observar que, en este motor, cuando la carga (y por tanto I_a) decrece también disminuye el flujo por polo. Y la máquina ha de acelerar para producir así la fuerza contra electromotriz requerida. Para cargas ligeras, la velocidad se hace peligrosamente elevada, y esta razón un motor serie ha de estar siempre engranado o acoplado directamente a la carga.

Los motores serie son adecuados para grúas, porque producen un gran par de arranque, van despacio cuando elevan un gran peso y de prisa con cargas ligeras. Los motores de tranvías son generalmente serie, su potente par de arranque los hace particularmente adecuados para este servicio.

MOTOR COMPUESTO :

Constituye un término medio entre el motor de derivación y el motor serie, y se conecta a la red como indica esquemáticamente la Fig.2.6.

La tensión aplicada E_t es constante, como así mismo la corriente en la derivación I_f ; pero la corriente en las bobinas serie se eleva con la carga, de modo que el flujo por polo aumenta con la carga, pero no tan rápido como en el motor serie.

La aplicación del motor compuesto es ideal cuando una carga mecánica está sometida a constantes pulsaciones violentas de corta duración, como en las cizallas y las prensas punzonadoras, en las cuales se acopla generalmente un volante para suprimir los picos y suavizar la carga en el motor. Sin el volante el motor habría de ser mucho mayor.

2.1.2 MAQUINAS A.C. :

Se va a referir exclusivamente a motores asin cronos trifásicos.

La potencia activa P absorbida de la red por el motor menos las pérdidas en el estator, se transmite al rotor mediante el campo giratorio que circula en la máquina, y se transforma en potencia mecánica P_2 .

La potencia transmitida por el estator al rotor se denomina potencia de entrehierro P_L .

El que el número de revoluciones en marcha asíncrona esté por debajo de la velocidad de sincronismo se denomina deslizamiento, S , que por lo general, se expresa en tanto por ciento de la velocidad de sincronismo, n_s .

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 \text{ (en \%)} \quad (2.7)$$

El flujo magnético Φ del campo giratorio crea, junto con la corriente del rotor I_2 , el par de giro T , cuyo valor aproximado en la zona de plena velocidad con una constante K viene a ser de :

$$T \approx K \Phi I_2 \text{ (en N - m)} \quad (2.8)$$

La potencia de entrehierro es :

$$P_L = \frac{T \cdot n_s}{0,974} \text{ (en W)} \quad (2.9)$$

La potencia suministrada (potencia mecánica, incluidas las pérdidas por rozamiento) :

$$P_2 = \frac{T \cdot n}{0.974} \quad (\text{en W}) \quad (2.10)$$

La diferencia $P_L - P_2$ se disipa como potencia eléctrica de pérdidas en el rotor P_V . El grado de distribución de las potencias P_L y P_2 depende exclusivamente del deslizamiento, puesto que rigen las siguientes ecuaciones :

$$P_2 = P_L (1 - S) \quad (2.11)$$

$$P_V = P_L \cdot S \quad (2.12)$$

El par de giro se puede calcular con la potencia mecánica útil, expresada en W, y las revoluciones por minuto del motor, valiéndose de la fórmula.

$$T = \frac{P_2}{n_s} \cdot 9,546 \quad (\text{en N} \cdot \text{m}) \quad (2.13)$$

O aproximadamente, para velocidad de régimen, por:

$$T = \frac{P_2}{n_s} \cdot 10 \quad (\text{en N} \cdot \text{m}) \quad (2.14)$$

Si esta velocidad de régimen sólo se diferencia en un reducido tanto por ciento de la velocidad síncrona al acabar el período de aceleración, el motor toma una velocidad del régimen, en la que el par motor en él desarrollado y el par antagónico de la máquina de trabajo son casi iguales.

El motor asíncrono suministra cualquier potencia que le sea exigida, hasta el límite de su capacidad de sobrecarga, bastante elevado. Al igual que los otros motores eléctricos, se ajusta automáticamente a la correspondiente carga, y todo ello con una velocidad prudencial de su velocidad de régimen.

RENDIMIENTO :

Es la relación entre la potencia suministrada mecánicamente y la activa absorbida de forma eléctrica. La potencia absorbida es igual a la suministrada más la totalidad de las pérdidas.

Por consiguiente :

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{POTENCIA SUMINISTRADA}}{\text{POTENCIA ACTIVA ABSORBIDA}} \cdot 100 \text{ (en \%)} \quad (2.15)$$

Los motores en los cuales predominan las pérdidas dependientes de la carga, es decir, pérdidas por efecto Joule en los devanados, tienen su mejor rendimiento en $3/4$ de la carga. Mientras que en motores en los cuales predominan las pérdidas en vacío, tienen mejor rendimiento por encima de la potencia nominal.

Cuando la carga es muy pequeña desciende mucho el rendimiento de un motor y se hace cero en vacío. El sobre-dimensionamiento del motor trae como consecuencia bajos rendimientos, puesto que, funcionan con poca carga.

La Fig. 2.7, muestra aproximadamente los rendimientos en función de la potencia nominal y del número de polos.

PAR MOTOR Y PAR ANTAGONICO :

El curso del par de giro de un motor con rotor de jaula puede estar influenciado en alto grado por el material de las barras del rotor, y por la forma de su sección.

La Fig. 2.8, representa la curva característica del par motor T , en función de la veloci-

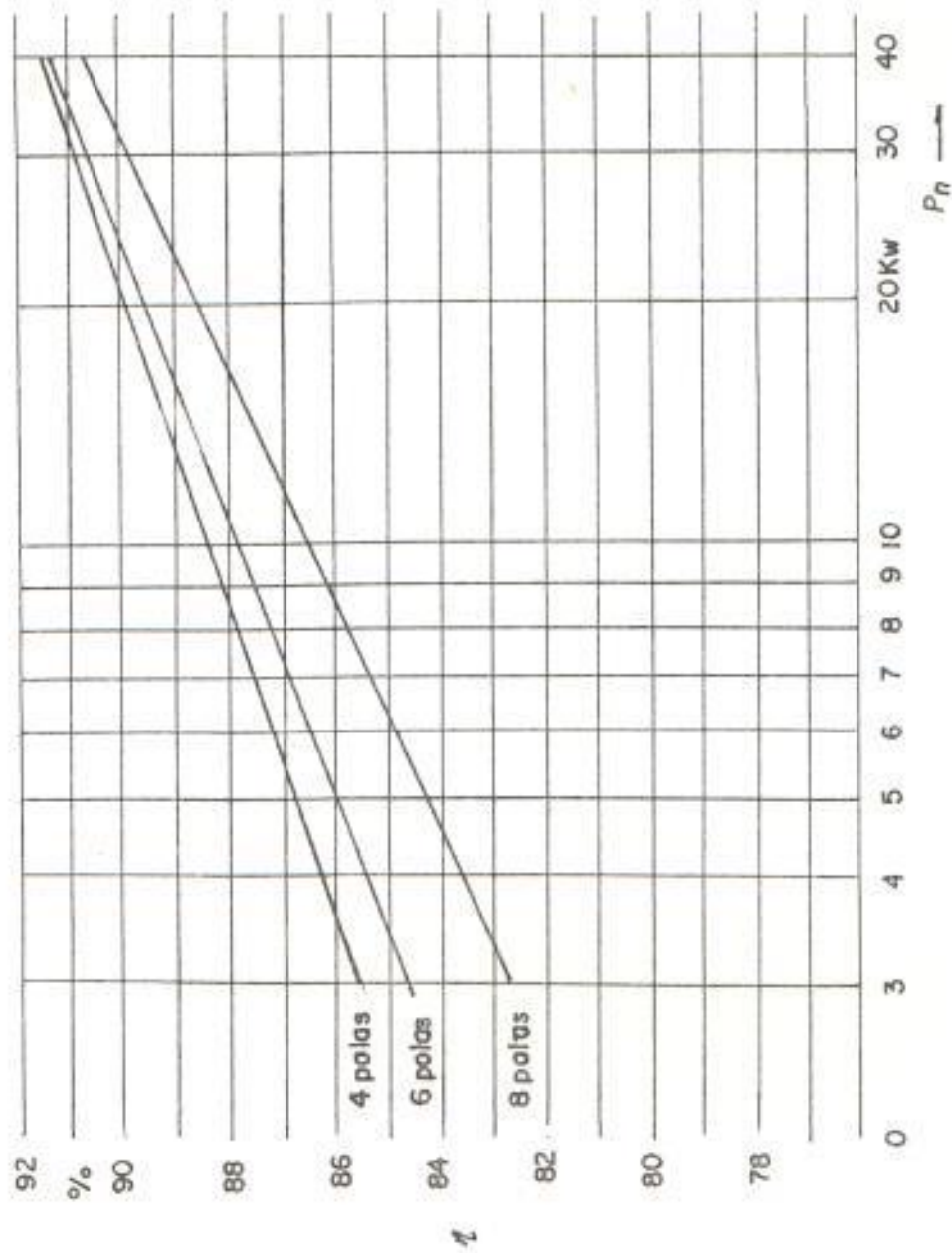


Fig. 2.7 RENDIMIENTOS APROXIMADOS DE MOTORES TRIFASICOS CON ROTOR DE JAULA PARA BAJA TENSION EN LA CLASE DE PROTECCION IP 44 Y POTENCIAS DE 3 Kw HASTA 40 Kw.

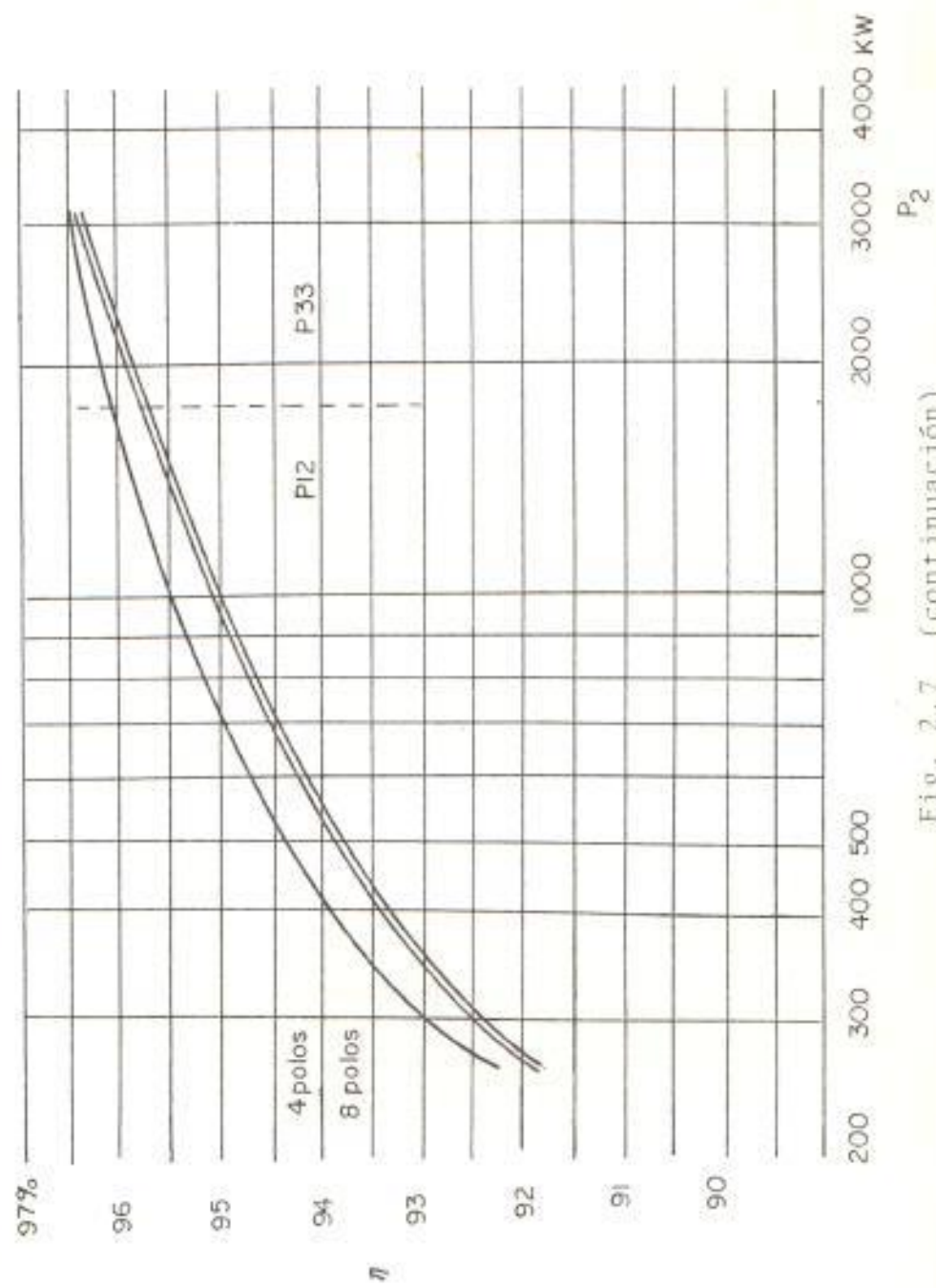


Fig. 2.7 (continuación)

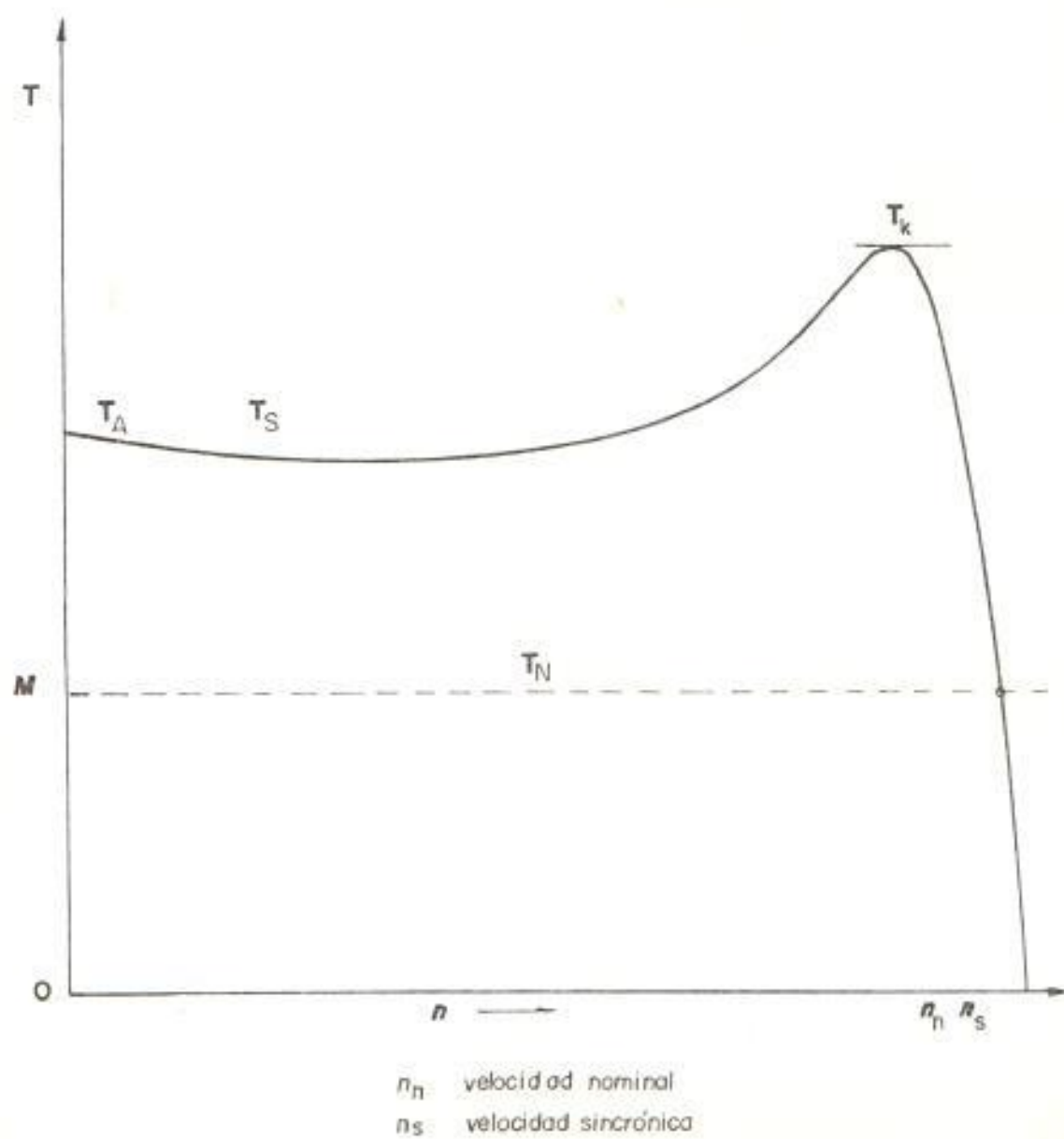


Fig. 2.8 CURVA CARACTERISTICA DEL PAR MOTOR

dad, aquí se pueden notar los siguientes pares individuales.

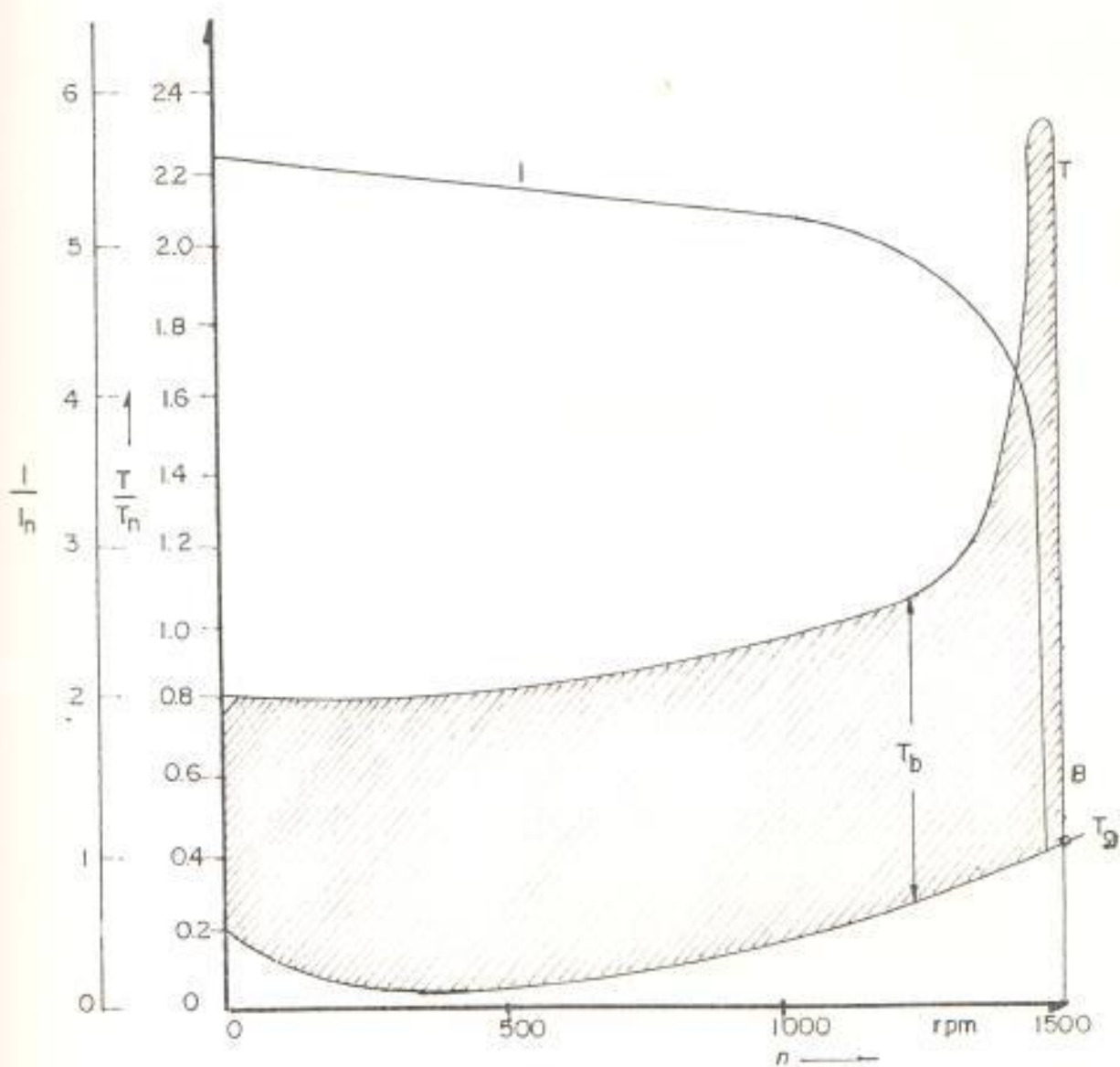
PAR NOMINAL	T_N (a velocidad nominal N_n)
PAR MAXIMO	T_K (par máximo en marcha)
PAR DE ARRANQUE	T_A (par estático)
PAR DE BACHE	T_S (par mínimo entre la parada y el par máximo).

Como par de aceleración T_b se designa el exceso del par T desarrollado por el motor respecto al par antagónico exigido por la carga (Figura 2.9).

2.2 PLANIFICACION DE ACCIONAMIENTOS DEL MOTOR.

Con la finalidad de dimensionar un motor para que tenga un funcionamiento seguro y que al mismo tiempo trabaje en forma rentable, han de conocerse antes exactamente las condiciones de funcionamiento.

Estas son, en esencia, no sólo la velocidad y la potencia o par exigido al motor, sino también el rendimiento de la unidad de transmisión, el trabajo de aceleración y frenado y la frecuencia de conexión. Los motores sobredimensionados tienen un factor de potencia desfavorable, los motores demasiado débiles son



T_g Par antagónico de un compresor rotativo descargado

B Punto de trabajo

T_b Par de aceleración

Fig. 2.9 CURSO DEL PAR MOTOR (T) Y EL PAR ANTAGÓNICO (T_g)

de servicio inseguro, debido a que se sobrecargan.

Se va a hacer un breve estudio de las principales cargas que generalmente existen en las industrias, y que producen pares antagónicos muy diversos. En la Tabla III, se dan ejemplos de distintos tipos de arranque y pares antagónicos de cargas. La Fig. 2.10 a 2.13, muestran las curvas características de los pares antagónicos de diversas máquinas (Cargas).

En general, los accionamientos se suelen arrancar sin carga. Ello es posible normalmente, tratándose de molinos de carbón, bombas centrífugas (con válvulas cerradas), compresores rotativos, ventiladores, máquinas herramientas. El arranque pesado se presenta cuando la máquina operadora no se puede descargar, sino que ejerce un par antagónico similar o mayor que el nominal, o si hay que acelerar masas de inercia muy grande.

Con la finalidad de conocer algunas aclaraciones y fórmulas que se utilizan posteriormente se muestra la Tabla IV.

TABLA III ARRANQUE DE MAQUINAS OPERADORAS

CLASE DE ARRANQUE	VALOR DEL PAR ANTAGONICO	EJEMPLOS	CURVA CARACTERISTICA
Arranque en vacío	Par antagónico reducido, puesto que la carga se aplica terminado el período de aceleración.	Tornos compresores de embolos con arranque sin carga, prensas, estampadoras.	3 Fig. 2.10
Arranque bajo carga	El par antagónico crece con la velocidad al valor máximo par antagónico constante, del orden del valor del par nominal.	Ventiladores con carga, turbobombas, turbo-compresores, elevadores, bombas de embolo con arranque bajo, carga cintas de transporte.	2 de la Fig. 2.10 y de la Fig. 2.11 1 de la Fig. 2.10
Arranque pesado	El par antagónico o de aceleración necesario es muy superior al par nominal.	Trenes de laminación, molinos de bolas, centrífugas.	

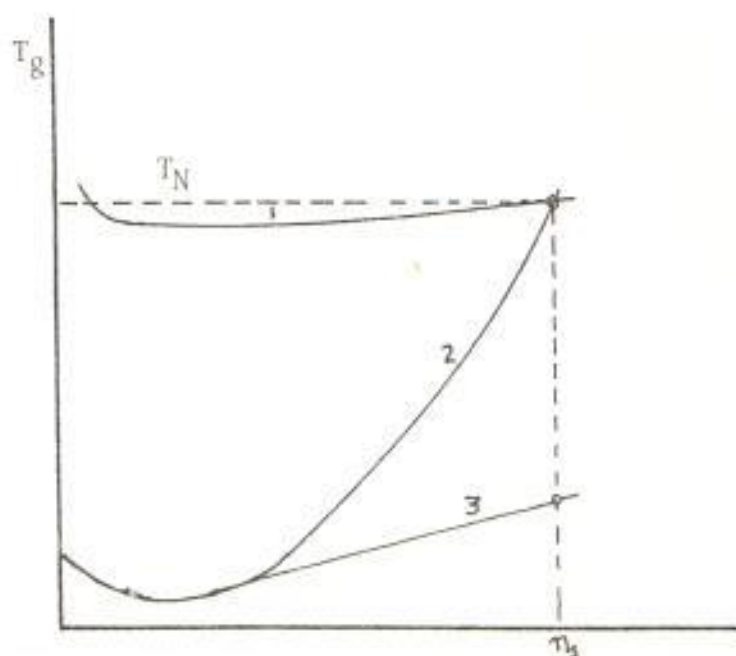


Fig. 2.10 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL PAR ANTAGÓNICO EN EL ARRANQUE DE MÁQUINAS OPERADORAS.

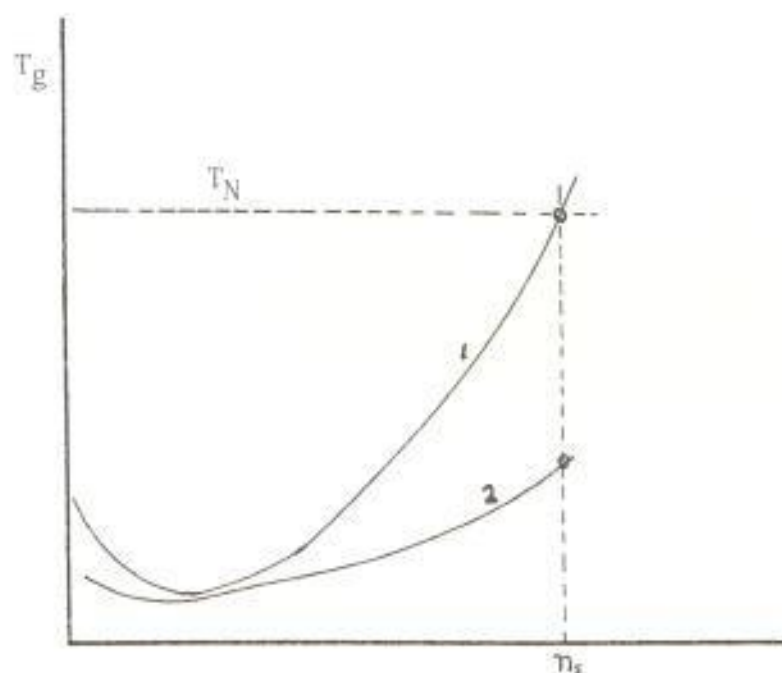


Fig. 2.11 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL PAR ANTAGÓNICO PARA BOMBAS Y COMPRESORES ROTATIVOS.

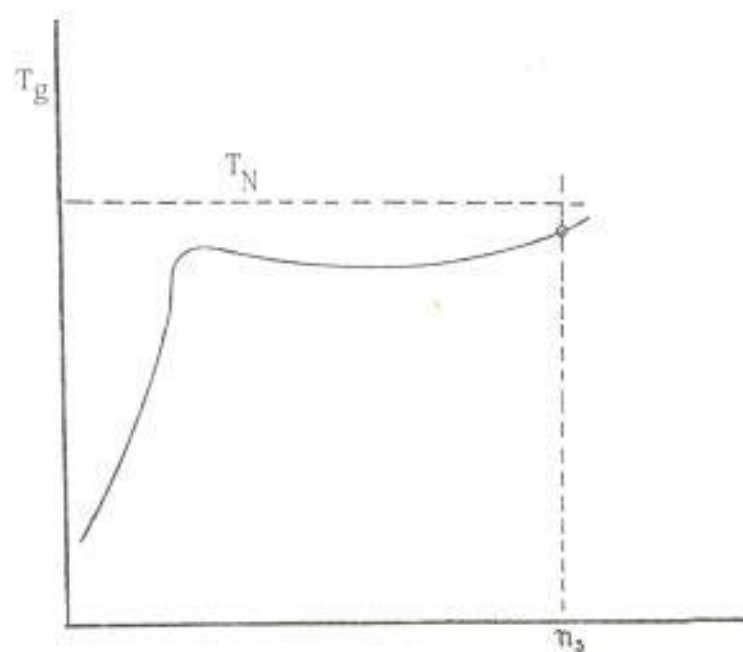


Fig. 2.12 CURVA CARACTERISTICA DEL PAR ANTAGONICO DE UN MOLINO DE BOLAS.

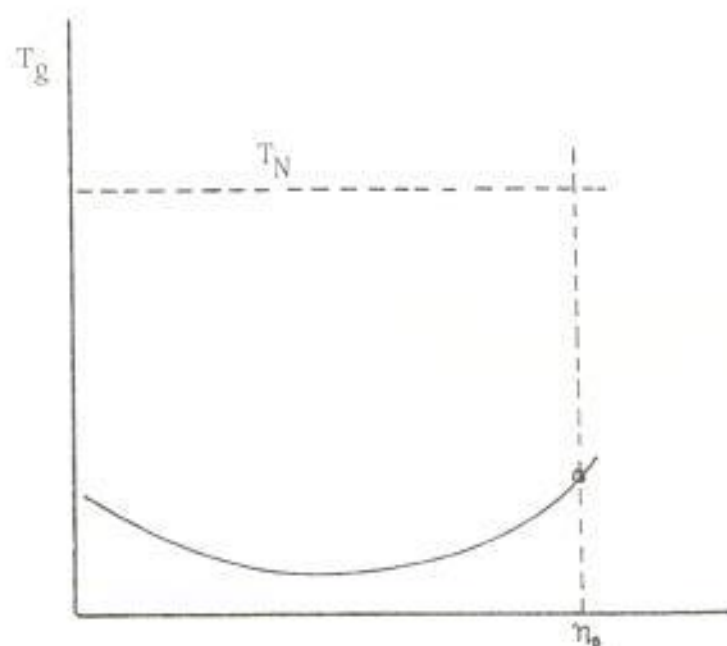


Fig. 2.13 CURVA CARACTERISTICA DEL PAR ANTAGONICO DE UN MOLINO DE MARTILLOS SIN CARGA.

TABLA IV SIMBOLOS PARA LA PLANIFICACION DE ACCIONAMIENTOS A MOTOR.

DESIGNACION	SIMBOLO	UNIDAD	OBSERVACION
Recorrido	s	m	
Tiempo	t	s	
Velocidad	v	m/s	
Velocidad angular	ω	1/s	$\omega = 2 \pi n/60$
Aceleración	a	m/s^2	Variación de la velocidad
Aceleración angular	α	$1/s^2$	
Fuerza	F	N	
Brazo de palanca, radio	R	m	
Par de giro	M	N-m	$M = R.F.$
Diámetro	D	m	
Presión	P	N/cm^2 N/m^2	
Trabajo	A	Nm Ws Kwh	1 Ws = 1 Nm 1 Kwh = 3.6×10^6 Nm
Potencia	P	Kw Nm/s	1 Kw = $1000 \frac{Nm}{s}$
Peso	Q, G	Kp	
Masa	m	Kg	$G = mg$
Momento de inercia	J, θ	$N \cdot m^2$	$J = mR^2$ (R=radio de inercia) $GD^2 = J.4 g$ D=Diámetro de inercia
Factor de inercia	GD^2	$N \cdot m^2$	
Gravedad	g	m/s^2	$g = 9,8066 m/s^2$
Revoluciones	n	r.p.m.	
Rendimiento	η	1	$\frac{\text{Potencia salida}}{\text{Potencia entrada}}$

2.2.1 DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL MOTOR A PLENA VELOCIDAD.

Si no se tiene en cuenta el arranque, el frenado y las variaciones de velocidad la potencia que ha de suministrar el motor en el acoplamiento, a plena velocidad, es igual a la potencia absorbida, por la máquina accionada, que viene dada por su potencia útil y sus pérdidas; por lo general, las pérdidas quedan comprendidas en el rendimiento η de la máquina accionada.

En un "mecanismo de elevación", la potencia útil consiste en la elevación de la carga, las pérdidas vienen dadas por el rozamiento en la unidad de transmisión, en las poleas y en los cojinetes, y por la rigidez del cable para movimientos en línea recta, la potencia del motor es :

$$P = \frac{F \cdot V}{10^3} \quad (\text{en KW}) \quad (2.16)$$

En "ascensores", el peso de la cabina y la mitad de la carga útil queda compensada por un contrapeso, con lo cual :

$$P = \frac{1}{2} \frac{F.V.}{10^3} \quad (\text{en KW}) \quad (2.17)$$

Para "movimientos giratorios", la potencia del motor viene dada por :

$$P = \frac{M \cdot n}{9546} \quad (\text{en KW}) \quad (2.18)$$

En "ventiladores" rige :

$$P = \frac{V \cdot P}{10^3} \quad (\text{en KW}) \quad (2.19)$$

En "bombas", la potencia del motor se determina multiplicando el caudal transportado por el segundo y la altura manométrica de transporte.

$$P = \frac{v \cdot r \cdot h}{\eta} \quad (\text{en KW}) \quad (2.20)$$

en donde:

F : Peso de la carga en N.

V : Velocidad de elevación en m/s

η : Rendimiento de la máquina accionada (carga)

M : Par antagónico de la máquina operadora, incluido su par de pérdidas en N-m.

n : Velocidad de R.P.M.

v : Caudal de aire o líquido en m³/s.

- P : Sobrepresión a la salida del aire en N/m^2 .
 r : Peso específico de líquido en N/dm^3
 h : Altura de transporte, incluida la altura resistiva en m.

Si se tiene ya en servicio accionamientos similares, será conveniente comprobar con medidas el resultado del cálculo previo de potencia. En ningún caso deberá ser sólo estimada la potencia. En las listas de motores, la potencia P viene dada en KW y la velocidad "n" en R.P.M. El correspondiente par de giro se calcula con estos dos datos, de acuerdo con la fórmula :

$$M = \frac{P}{n} 0,9546 \text{ (en N-M)} \quad (2.21)$$

en donde:

P = Potencia suministrada en el acoplamiento en KW.

n = Velocidad del motor en R.P.M.

2.2.2 INFLUENCIA DE LA CLASE DE SERVICIO SOBRE EL TAMAÑO DEL MOTOR.

En el cálculo del motor ha de tenerse en cuenta la clase especial de servicio en caso de que no haya de trabajar en servicio permanen-

te. Para la aceleración y el frenado son necesarias intensidades que elevan aún más las pérdidas ocasionadas por la corriente bajo carga.

{ Así, pues el motor ha de estar previsto de tal forma que no se sobrepase la temperatura límite a consecuencia de estas pérdidas.

En accionamientos con carga variable, velocidad de servicio alternativa y aceleración y deceleración. Frecuentes - por consiguiente, con la intensidad variable de la corriente de inducido- es preciso tener en cuenta, al calcular o elegir el motor, la sollicitación alternativa a que estará sometido. En el servicio permanente se determina, en tales casos el valor medio eficaz del par de giro. Como aproximación, es suficiente con representar la línea del par total de giro, que se obtiene mediante el par antagónico y el de aceleración o frenado, en función del tiempo, y hallar el valor medio cuadrático. Este es igual al par de giro eficaz, que puede utilizarse para la determinación de la potencia del motor. Aquí se supone que las pérdidas del mo-

tor son proporcionales al cuadrado de la intensidad, y que ésta, a su vez, lo es al par de giro.

El valor eficaz del par de giro, cuyo curso muestra la Fig. 2.14, viene dado por :

$$M_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{T}} \quad (2.22)$$

Siendo

$$T = t_3 + t_1 + t_2 + t_3$$

Se elige para el accionamiento un motor cuyo par nominal en servicio permanente sea igual o algo superior a este par eficaz, así pues, la potencia permanente del motor es :

$$P = \frac{M_{\text{eff}} \cdot n}{9.546} \quad (\text{en KW}) \quad (2.23)$$

Es preciso comprobar siempre si el par máximo satisface también mayores exigencias del servicio, en cuanto al par de giro.

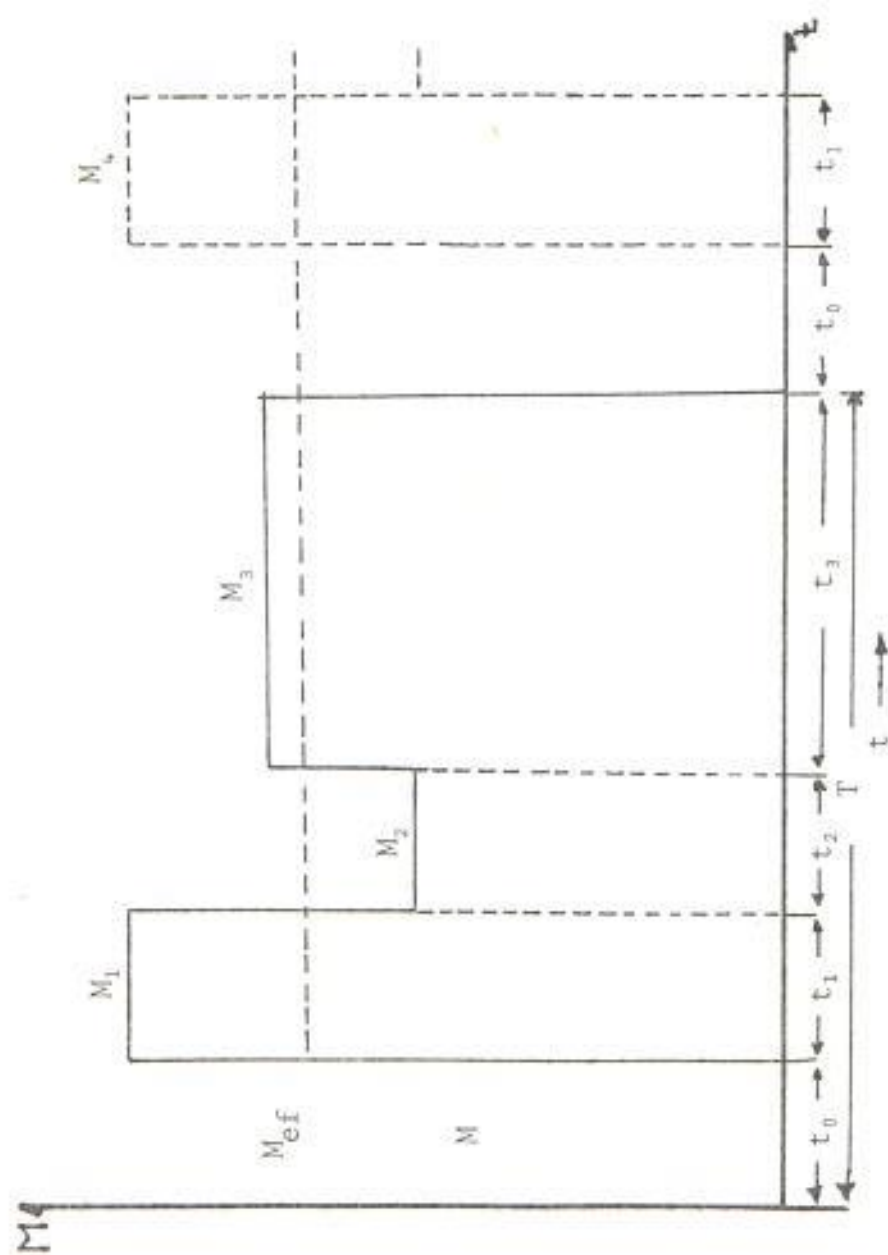


Fig. 2.14 VALOR MEDIO CUADRÁTICO M_{ef} DE LOS PARES DE GIRO.

2.2.3 CLASES DE SERVICIO

En el servicio intermitente alternan los períodos de conexión con las pausas sin corriente, por lo que, en determinadas circunstancias, puede elegirse motores de menor potencia que para el servicio permanente. La clase de servicio ha de ser dada por el constructor lo más exactamente posible. Para la planificación de estos motores se trabaja con el concepto de duración relativa de conexión, según las prescripciones V.D.E. :

En la placa de características se registrará uno de los valores normalizados de es decir, 15, 25, 40 ó 60%. La duración del ciclo se compone, en el servicio intermitente, de la duración de la carga y de la pausa sin corriente, por ejemplo, S3 - 40% significa 4 min conectado, 6 min. de pausa, así sucesivamente. Se trata generalmente de accionamientos con frecuentes aceleraciones y frenadas, o sea, con variaciones de velocidad, para las cuales se ha de aplicar, a menudo un par de giro superior al necesario a plena velocidad. Estos pares de aceleración y frenado deben tenerse en cuenta en el cálculo. Si en los dis

tintos procesos de trabajo del motor entra en consideración casi siempre la velocidad plena, se podrá operar más fácilmente con las potencias que con los pares de giro (Fig. 2.15).

La potencia eficaz, que es una medida aproximada del calentamiento del motor, viene dada por :

$$PeF = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + 1/3 (P_3^2 - P_3 \cdot P_4 - P_4^2) \cdot t_3}{T}} \quad (2.24)$$

En las normas V.D.E. 0530, parte 1/11,72, "prescripciones para máquinas eléctricas rotativas" # 4 y 5 se intenta clasificar las diversas sollicitaciones a las que está expuesto el motor, debido a los distintos métodos de trabajo y al tipo de máquinas operadoras, en un sistema de clases nominales de servicio. Con respecto al calentamiento, en las prescripciones V.D.E. se diferencian las clases de servicio mostradas en las Fig. 2.16 a 2.20, que son las que se presentan en la práctica.

a) SERVICIO PERMANENTE (s_1)

La duración del servicio a potencia nomi-

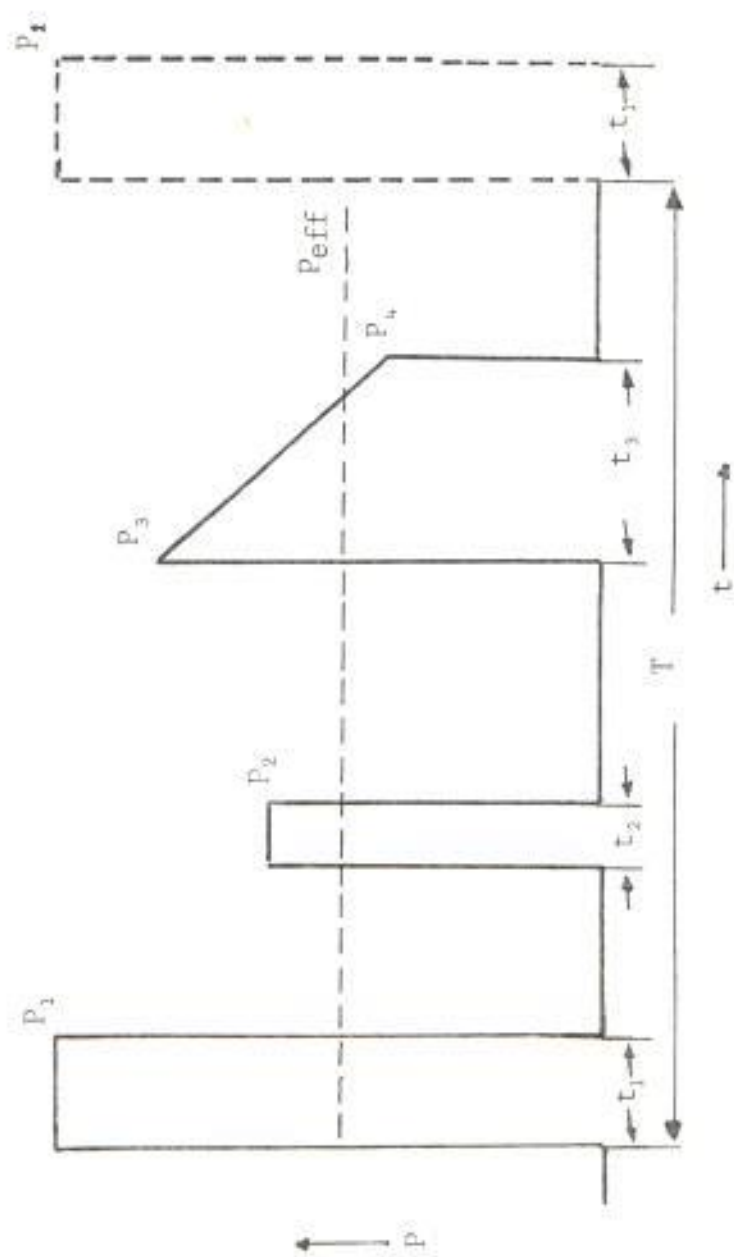


Fig. 2.15 VALOR MEDIO CUADRÁTICO DE LAS POTENCIAS.

nal es tan larga que se alcanza la temperatura de equilibrio (Fig. 2.16).

b) SERVICIO DE CORTA DURACION (s_2)

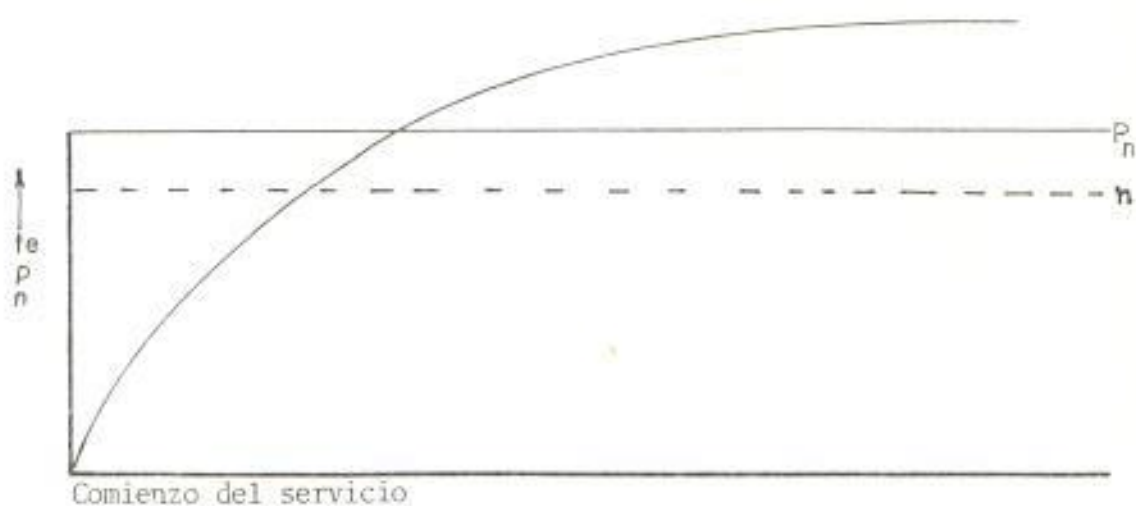
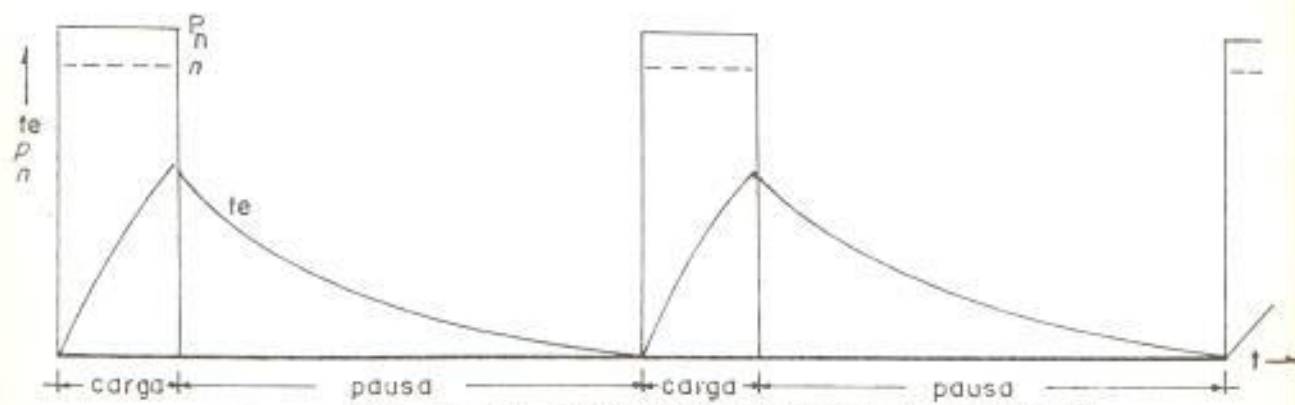
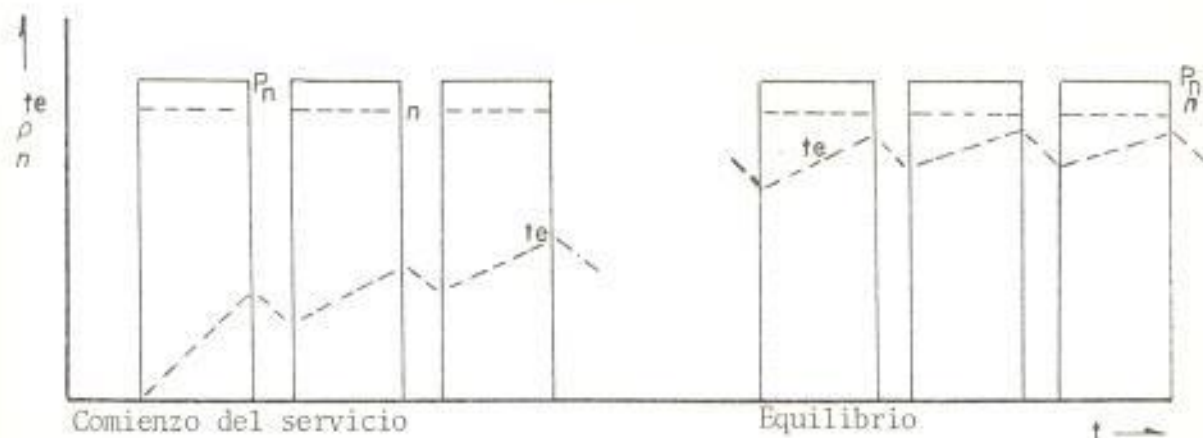
La duración prevista del servicio a potencia nominal es tan breve que no se alcanza la temperatura de equilibrios. La pausa sin corriente es tan larga que la máquina se enfría casi a la temperatura del medio refrigerante; por lo general, aire ambiental (Fig. 2.17).

c) SERVICIO INTERMITENTE SIN INFLUENCIA DEL ARRANQUE SOBRE LA TEMPERATURA (s_3).

Un servicio compuesto de una sucesión de ciclos iguales, cada uno de los cuales comprende un tiempo con carga constante, y una pausa en donde la corriente de arranque no influye de forma apreciable sobre el calentamiento (Fig. 2.18).

d) SERVICIO INTERMITENTE CON INFLUENCIA DEL ARRANQUE SOBRE LA TEMPERATURA (s_4).

El servicio consta de una sucesión permanente de ciclos de igual tipo, cada uno de

Fig. 2.16 SERVICIO PERMANENTE S_1 Fig. 2.17 SERVICIO DE BREVE DURACION S_2 Fig. 2.18 SERVICIO INTERMITENTE S_3 SIN INFLUENCIA DEL ARRANQUE SOBRE LA TEMPERATURA.

los cuales comprende un tiempo de arranque, uno a potencia nominal y uno de parada. Estos tiempos no son suficientes para alcanzar el estado de equilibrio térmico (Fig. 2.19).

- e) SERVICIO INTERMITENTE CON INFLUENCIA DEL ARRANQUE Y DEL FRENADO SOBRE LA TEMPERATURA (s_5).

El servicio consta de una sucesión permanente de ciclos de igual tipo, cada uno de los cuales comprende un tiempo de arranque, uno a potencia nominal, uno de frenado eléctrico y uno de parada. Estos tiempos no son suficientes para alcanzar el estado de equilibrio térmico (Fig. 2.20).

- f) SERVICIO CONTINUO CON CARGA INTERMITENTE (s_6).

Un servicio compuesto de una sucesión de ciclos iguales, cada uno de los cuales comprende un tiempo con carga constante y un tiempo de marcha en vacío no se produce pausa alguna (Fig. 2.21).

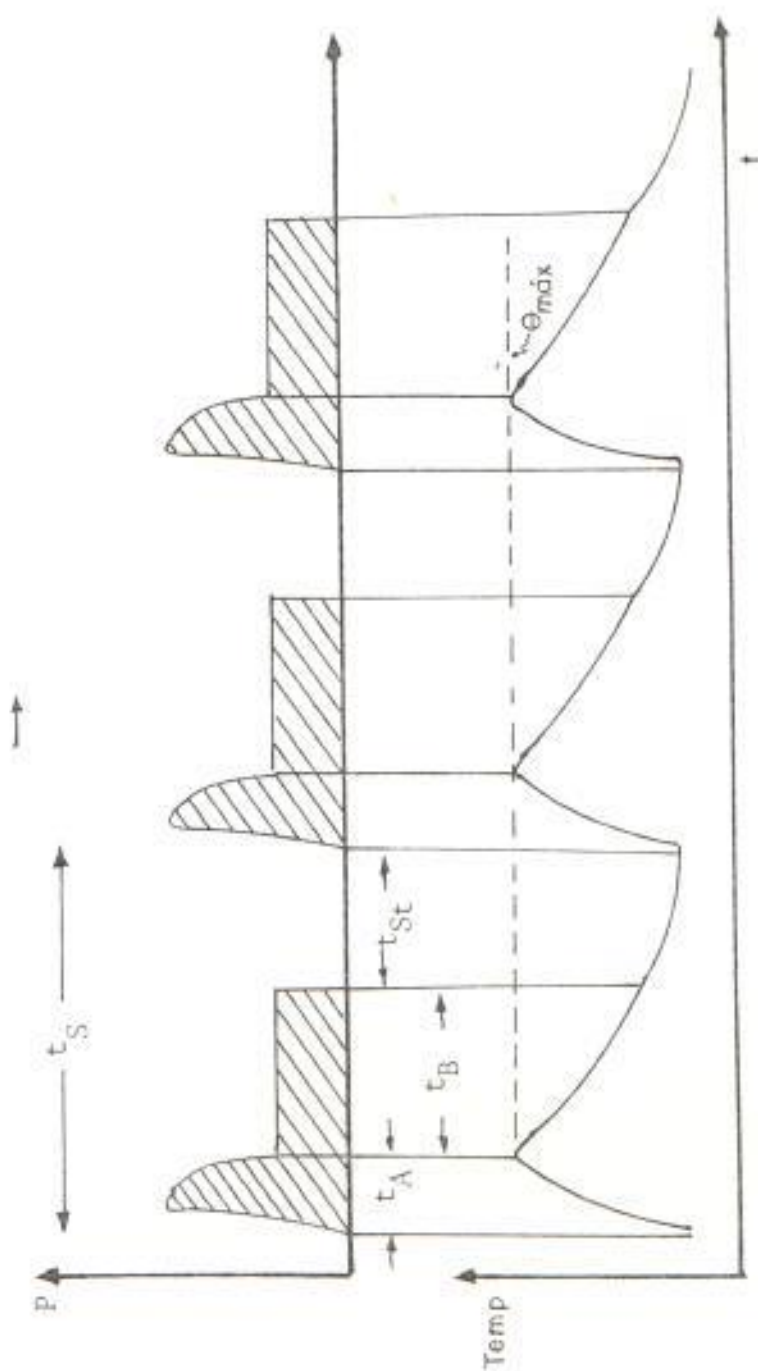


Fig. 2.19 SERVICIO INTERMITENTE S_u CON INFLUENCIA DEL ARRANQUE.

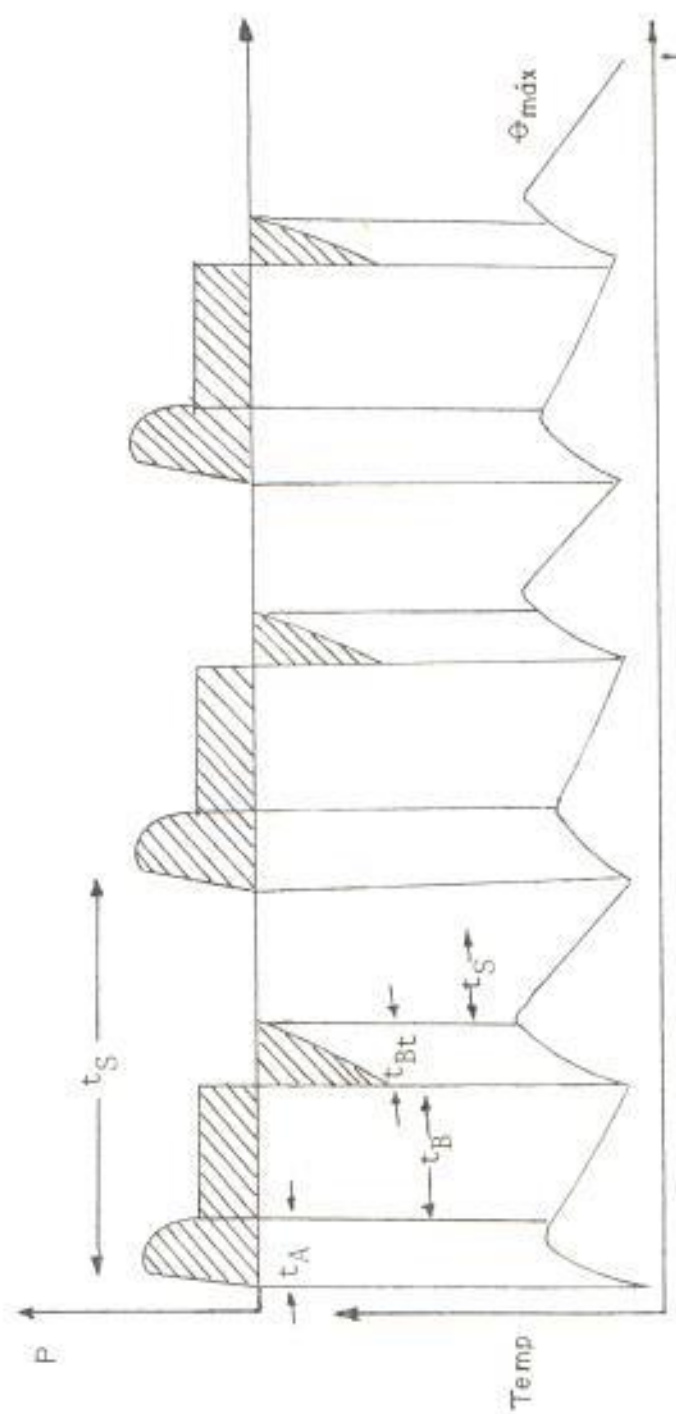


Fig. 2.20 SERVICIO INTERMITENTE S_3 , CON INFLUENCIA DEL ARRANQUE Y FRENADO.

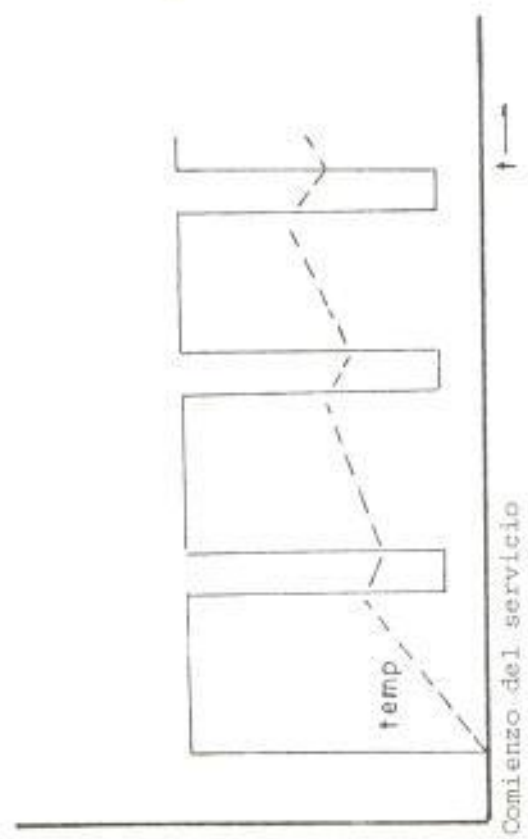


Fig. 2.21 SERVICIO CONTINUO S_c CON CARGA INTERMITENTE.

- g) SERVICIO ININTERRUMPIDO CON ARRANQUE Y FRENADO (s_7).

Un servicio compuesto de una sucesión de ciclos iguales, cada uno de los cuales comprende un tiempo apreciable de arranque, un tiempo con carga constante y un tiempo con freno eléctrico rápido. No se produce pausa alguna.

- h) SERVICIO ININTERRUMPIDO CON CONMUTACION DE POLOS (s_8).

Cada uno de los ciclos sucesivos de igual tipo comprende un tiempo con carga constante a una velocidad correspondiente y un tiempo, inmediatamente a continuación, con otra carga constante y a otra velocidad.

- i) TIEMPOS DE SERVICIO NORMALIZADOS.

Para el servicio de breve duración (s_2), se recomienda en las prescripciones V.D.E. 0.530 los valores de 10, 30, 60 y 90 min.

Para el servicio intermitente (s_3) y el continuo (s_6) la duración de los ciclos es

de 10 min. en caso de que no se haya acordado otra cosa. Para la duración relativa de conexión se recomienda los valores de 15, 25, 40 y 60%.

2.3 MANTENIMIENTO DEL MOTOR.

La intención de esta sección es hacer resaltar la gran importancia que tiene un programa de mantenimiento preventivo a fin de reducir el número de interrupciones en la planta. Cuando estas suceden en fábricas donde hay líneas de producción traen consigo una elevación sustancial en el costo unitario de producción.

El mantenimiento preventivo es costoso; esto requiere stock de repuestos, personal específico, archivo de información por cada máquina, etc. Sin embargo, el costo de la paralización total de una sección de la planta puede resultar mucho más costoso, que la reparación del daño.

Cuando se prepara un programa de inspecciones de rutina, se debe tener claro que demasiada frecuencia en las inspecciones son un gasto de dinero. La regularidad de las inspecciones dependerán de la impor-

tancia del equipo en la producción, su ciclo de trabajo, edad, sobrecarga, y otros factores pertinentes. El constructor de equipo eléctrico recomendará un ciclo de inspección que podría ser modificado más tarde por la experiencia.

Cuando se planea un programa de mantenimiento preventivo, todo equipo debe ser clasificado por su función que realiza dentro del proceso de producción. Maquinaria que puede producir un fuerte paro en la planta es clasificado como "Equipo vital" y deberá ser atendido con un programa de mantenimiento especial. Los equipos, tales como aires acondicionados, ventiladores, enfriadores, etc., deben ser clasificado como "Equipo no vital".

A continuación se dará lineamientos generales sobre mantenimiento de las diversas partes de las máquinas eléctricas.

La máquina tiene pocas piezas auxiliares a desgaste normal; éstas son principalmente las escobillas, las superficies de trabajo de los anillos rozantes y los cojinetes.

Hay que comprobar el grado de desgaste de las escobillas, así como su libertad de movimiento dentro del

portaescobillas. Las nuevas escobillas se rebajarán cuidadosamente hasta lograr su adaptación a la curvatura de los anillos rozantes.

Los anillos rozantes no deben presentar huellas apreciables; en otro caso habrá que retornarlos. Cada cierto tiempo deberá comprobarse su centricidad. El aceite de los cojinetes de deslizamiento se sustituirá en cuanto alcance un cierto grado de suciedad, y la grasa de los cojinetes de rodamiento se renovará en los intervalos prescritos.

El desgaste de los cojinetes de deslizamiento se controlará por la medida, en períodos regulares, del entre-hierro entre el estator y rotor, especialmente al efectuar una revisión general. El valor tolerado supone sólo algunas décimas de milímetro, debido al pequeño entre-hierro de los motores asíncronos. También es preciso comprobar tensión en bandas, puesto que un tiro excesivo produce un rápido desgaste de los cojinetes.

En motores con refrigeración por aire ambiente se limpia toda la máquina a intervalos regulares, dependiendo éstos del contenido en polvo del aire; esto rige, en especial, para las piezas metálicas bajo

tensión y los separadores de aislamiento (peligro de corrientes de fuga y de una derivación en la placa de bornes). El polvo de las escobillas en rotores con anillos rozantes será aspirado o soplado. Las aberturas externas e internas de entrada y salida del aire deben mantenerse libre de virutas de madera, fibras y cualquier otra suciedad, limpiando si fuera necesario, las ranuras del motor.

Al mantenimiento del motor corresponde también la determinación de la temperatura, cuando exista la sospecha de que se calienta excesivamente. No basta con determinar que la temperatura de la carcasa no se puede aguantar al tocar con la mano, puesto que en la clase de aislamiento B el calentamiento admisible es de 80°C sobre la temperatura ambiente, la cual puede llegar hasta los 40°C. Si bien el calentamiento puede determinarse por la medida de resistencia en frío y en caliente, para el mantenimiento basta tomar una medida con termómetro en un punto apropiado de la carcasa del motor lo más sencillo es utilizar el taladro roscado del cáncamo de transporte, una vez desmontado éste, evitando la radiación del calor al exterior por medio de algodón de limpieza. Para mejor transmisión de la temperatura se envuelve al extremo inferior del termómetro con papel de estaño. A continuación se lee la temperatura y se resta

de ella la del ambiente. La diferencia es el calentamiento real del devanado más 5 a 40°C, más elevado, dependiendo del tamaño de la máquina.

Los cojinetes se deben limpiar con gasolina, pero nunca con petróleo, hasta eliminar todos los residuos de grasa. El espacio destinado a la grasa debe ir sólomente lleno hasta sus 2/3. Es preciso emplear la grasa descrita para rodamientos y en ningún caso cualquier grasa, jamás se mezclarán grasas de distinta clase.

2.4 ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE NUEVOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.

En esta sección se enfocará los aspectos de pérdidas y eficiencia en los motores eléctricos; aquí se analiza el aspecto teórico de : dónde, cómo y bajo que condiciones se producen las pérdidas. Además en la próxima sección se trata sobre los motores que existen actualmente en el mercado, es decir de alta eficiencia, y se hará análisis económicos de la conveniencia para la compra de un motor nuevo de alta eficiencia, o la reparación de un motor antiguo de baja eficiencia y factor de potencia.

2.4.1 ASPECTOS TECNICOS

Como se conoce la eficiencia de un motor es la medida de la efectividad con la cual convierte energía eléctrica a energía mecánica. Esto es definido como la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada o, en términos de potencia eléctrica, Watios de salida a Watios de entrada y puede ser reescrito como la razón de salida a salida más pérdidas, así :

$$\text{Eficiencia del motor} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Salida}}{\text{Salida} + \text{Pérdidas}} \quad (2.25)$$

$$= \frac{\text{H.P. 746}}{\text{H.P. 746} + \text{Watios de pérdidas}} \quad (2.26)$$

La diferencia -Watios de pérdidas- es debido a pérdidas eléctricas más fricción y pérdidas por ventilación.

Todo motor A/C tiene 5 componentes de Watios de pérdida, las cuales son las razones para su ineficiencia. Los Watios de pérdida son

convertidos en calor, el cual es disipado por la carcasa del motor ayudada por ventiladores internos o externos. Pérdidas en estator y rotor I_T^2 son causadas por el flujo de corriente a través del devanado del motor y son proporcionales al cuadrado de la corriente por la resistencia del devanado ($I_T^2 R$). Las pérdidas magnéticas son debidas principalmente a los núcleos laminados del estator y rotor y pueden ser reducidas por la utilización de aceros con características de bajas pérdidas magnéticas. Las pérdidas de fricción y ventilación son debido a todas las fuentes de fricción, y movimiento de aire en el motor y podría ser apreciable en motores de alta velocidad o totalmente encerrados enfriados por ventilación, las pérdidas por carga de dispersión es debido a la alta frecuencia de las pulsaciones del flujo.

En la Tabla V, se muestran las pérdidas de motores típicos de 4 polos.

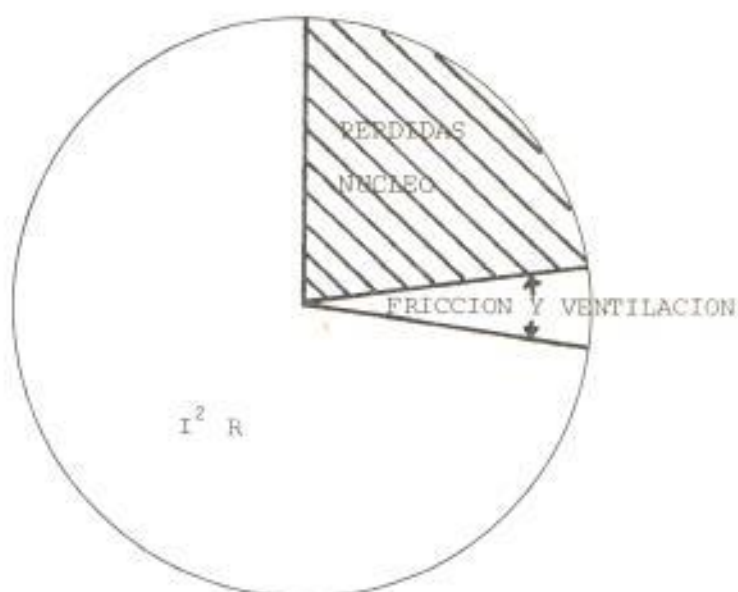
Mejoras en la eficiencia del motor pueden ser conseguidas sin comprometer la operación del motor dentro de los límites de diseño y tecnología de construcción.

PERDIDAS	TOTAL DE PERDIDAS(%)	FACTORES PRIMARIOS AFECTANDO A ESTAS PERDIDAS(*)
PERDIDAS DEL ESTATOR (pérdidas de calentamiento I_r^2 en devanados)	35-40	Tamaño del conductor del estator y la conductividad.
PERDIDAS DE ROTOR (I_r^2 o pérdidas de deslizamiento en devanados)	15-25	Tamaño del conductor del rotor y la conductividad.
PERDIDAS DEL NUCLEO (Hysteresis y pérdidas por corriente de eddy)	15-25	Tipo y calidad del material magnético.
PERDIDAS POR CARGA DE DISPERSION (La más difícil a controlar debido a las características magnéticas y eléctricas del motor y sus materiales)	10-15	Construcción inicial y métodos de diseño.
PERDIDAS DE FRICCION Y VENTILACION (Pérdidas en fricción de cojinetes en ventilación y en otras partes rotativas)	5-10	Selección/diseño de ventiladores y cojinetes.

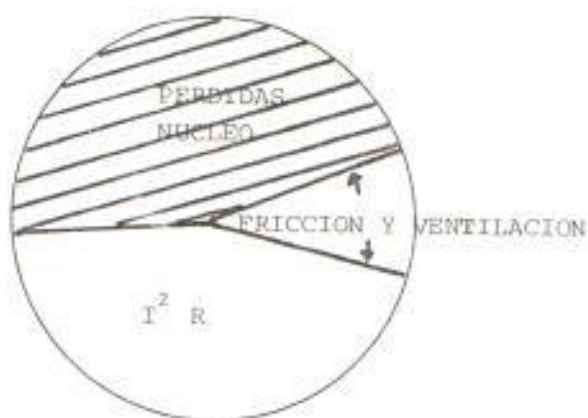
TABLA V. DISTRIBUCION PORCENTUAL APROXIMADA DE PERDIDAS

(*)

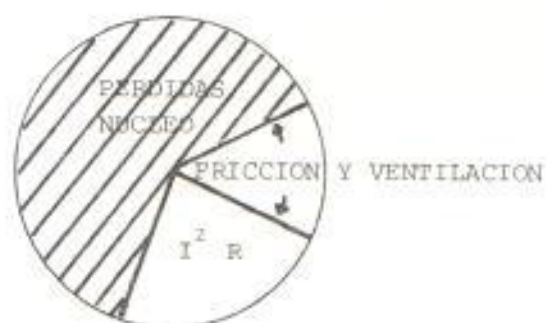
Con la finalidad de visualizar la variación de las diferentes pérdidas en distintos porcentajes de carga de un motor se observa el siguiente gráfico (Fig. 2.22).



(a) Plena carga



(b) 50% de carga



(c) Sin carga

Fig. 2.22 DISTRIBUCION DE PERDIDAS A VARIAS CARGAS

NOTA: Notar que las pérdidas del núcleo se mantienen casi constantes en los tres porcentajes de carga.

Los siguientes son los caminos para lograr la reducción de pérdidas :

- 1) Adicionando más acero al núcleo, a fin de reducir la densidad de flujo de operación.
- 2) Usando tamaño fino de núcleos de acero a fin de reducir pérdidas por corrientes de eddy.
- 3) Hysteresis, una de las mayores componentes de pérdidas del núcleo, pueden ser reducidas por la utilización de silicón u otros núcleos de acero más que el acero de carbón.
- 4) Incrementando el área transversal del devanado usando un número más grande conductores, o aumentando el tamaño del conductor.

La Tabla VI, resume los métodos que están siendo usados para reducir pérdidas en motores.

i. PRUEBAS PARA EFICIENCIA.

Es necesario conocer los diversos métodos aceptados para medir la eficiencia en los

PERDIDAS DEL MOTOR	CAMBIOS EN DISEÑO USADOS POR ALGUNOS FABRICANTES PARA REDUCIR PERDIAS
PERDIDAS EN ESTATOR	Cambio en configuración de devanados para incrementar cantidad de cobre (esto mejora conductividad, baja resistencia y reduce pérdidas de potencia).
PERDIDAS EN ROTOR	Lo mismo que para pérdidas del estator.
PERDIDAS EN NUCLEO	<ul style="list-style-type: none"> a) Prolongando el estator y rotor a fin de reducir la densidad del flujo magnético, cortando los efectos de hysteresis y corrientes de eddy. b) Usando acero silicón más que acero al carbón en el estator a fin de reducir efectos de hysteresis y corriente de eddy. c) Usando láminas muy finas en el rotor y estator para ayudar a reducir pérdidas en el núcleo por minimización de corrientes de eddy.
PERDIDAS DE DISPERSION	Optimizar el diseño del entre-hierro tal que sea bien pequeño suficiente como para reducir pérdidas por carga de dispersión y mejorar la eficiencia.
PERDIDAS POR FRICCION Y VENTILACION	Uso de más pequeño y más eficientes ventiladores uso de alta calidad de rodamientos y mejorar métodos de lubricación.

TABLA VI METODOS Y TECNICAS PARA REDUCIR PERDIDAS EN MOTORES ELECTRICOS.

motores, ya que el técnico debe diferenciar un método de otro, tanto para su aplicación en cada caso, como también en cuanto al grado de exactitud que desee. Los problemas de pruebas ocurren ya que los dispositivos de carga con los cuales se puede medir con exactitud en eje de salida del motor llega a ser menos disponible tanto como aumenta el caballaje del motor.

METODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA :

- a) FRENO .- Se usa un freno mecánico para cargar el motor y se mide la fuerza de reacción; esto está limitado a motores de potencia pequeña debido al calor generado en el freno.
- b) DINAMOMETRO.- *Un dinamómetro carga al motor y la salida es medida por una escala fácil de controlar así que los puntos de carga pueden ser fácilmente colocados y permanecer estable mientras las lecturas de torque y velocidad son tomadas.
- c) MAQUINA DUPLICADA.- Dos máquinas iden-

tificadas son acopladas juntas y conectadas a dos fuentes de potencia; siendo ajustable la frecuencia de una. Rara vez usado, excepto para máquinas de gran caballaje.

- d) MEDIDAS EN LA ENTRADA.- La potencia de entrada es medida directamente pero la salida del motor es calculada por deducción de las pérdidas calculadas desde la entrada. Requiere una prueba separada para medir las pérdidas por dispersión.
- e) CIRCUITO EQUIVALENTE.- Puede ser usado si no se tiene disponible carga para el motor. Las constantes del circuito equivalente del motor son determinados desde pruebas de rotor bloqueado y vacío, y las pérdidas son calculadas a base del circuito equivalente. Una prueba separada es necesaria para calcular las pérdidas por dispersión.

Los varios métodos de pruebas de eficiencia pueden ser divididos en dos grandes categorías : aquellos que determinan la efi-

ciencia por medición directa; y aquellas las cuales determinan indirectamente, por cálculo de pérdidas desde los datos obtenidos de las pruebas de vacío y rotor bloqueado.

Los métodos "a", "b", y "c" determinan eficiencia directamente desde medidas de entrada eléctricas y salidas mecánicas bajo operación máxima. La eficiencia es calculada por la razón de salida para entrada.

Los métodos "d" y "e" usa varias técnicas para determinar entrada o salida, o ambas, cuando la medición directa no es disponible. Más bien que la medida de la salida, los Watios de pérdida son medidos de la entrada. La diferencia principal entre los varios métodos es el tratamiento de pérdidas por dispersión. Una aproximación buena de estas pérdidas, es asumir entre 8 y 15% de las pérdidas totales.

ii. OTRAS DETERMINANTES DEL COSTO DE OPERACION

a) VOLTAJE DESBALANCEADO :

El voltaje desbalanceado afecta a la co

rriente del motor, velocidad, torque, elevación de temperatura y eficiencia.

Las normas dicen que cuando el desbalance excede 1% del motor ya no da su capacidad nominal y se pronuncian en contra de la operación de un motor con más de 5% de desbalance.

$$\text{Desbalance de voltaje (\%)} = \frac{\text{Voltaje Promedio} - \text{Voltaje de máxima desviación}}{\text{Voltaje promedio}}$$

En la Fig. 2.23, se observa como el porcentaje de desbalance afecta directamente al incremento de porcentaje de pérdidas.

b) CARGA DEL MOTOR :

Una de las más comunes fuentes de pérdidas de Watios de un motor es cuando no está siendo trabajado a su carga nominal motores estándar alcanzan su mejor punto de eficiencia cerca su carga nominal, como lo muestra la Fig. 2.24.

El factor de potencia es variable con la carga y se incrementa tanto como el

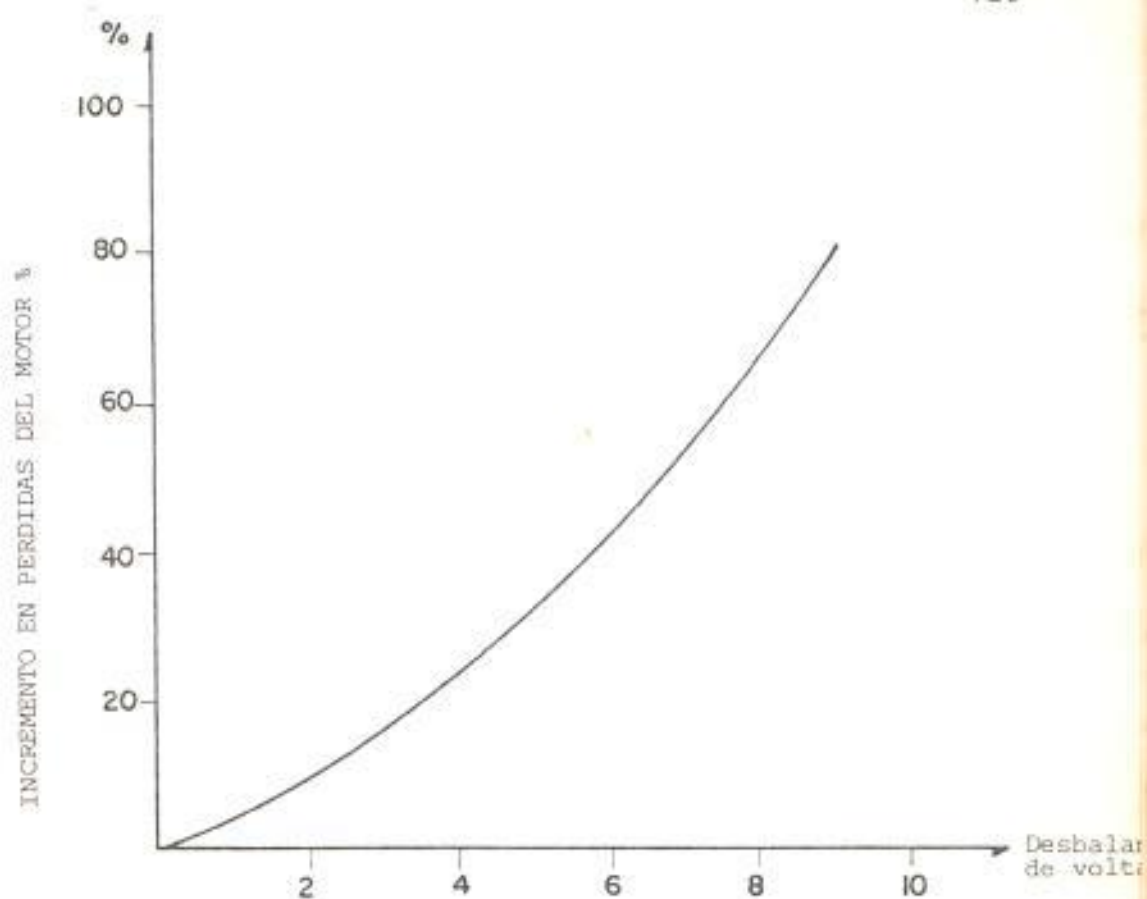


Fig. 2.23 PORCENTAJE DE PERDIDAS vs. DESBALANCE

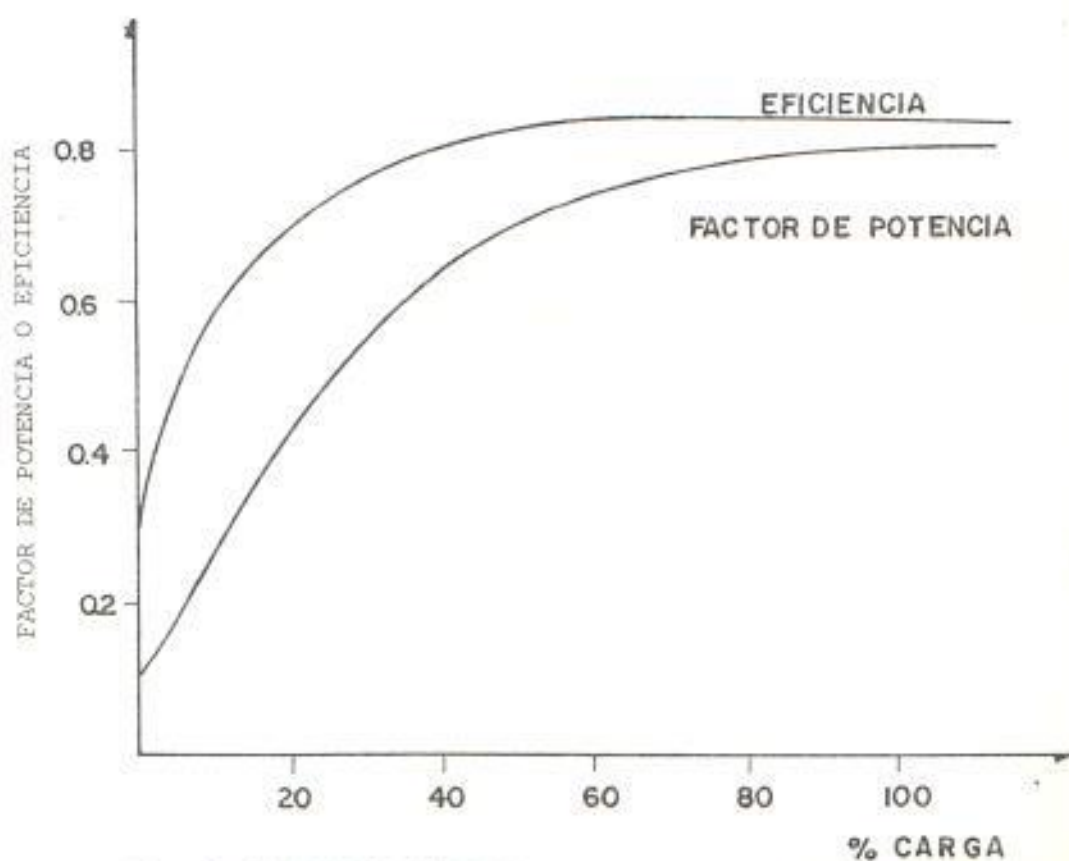


Fig. 2.24 EFICIENCIA DEL MOTOR vs. NIVEL DE CARGA

motor es cargado en algunas aplicaciones donde funcionan motores por un período extenso de tiempo en vacío, podría ahorrarse energía apagando el motor y arrancarlo el siguiente período.

2.4.2 ASPECTOS ECONOMICOS.

Muchos proyectos de conservación de energía involucran fuertes capitales a fin de obtener equipos más eficientes. Una de las áreas que debe ser investigada es el uso de motores de alta eficiencia, a pesar que un motor de éstos tiene un elevado costo inicial, es la disminución sustancial en planillas y un alto nivel de funcionamiento la que hace pensar en el uso de estos motores. El tema de costo inicial alto Vs. costos bajos de operación y mejor funcionamiento deben ser evaluados cuidadosamente.

Desde el punto de vista económico al cliente le interesa que se determine el punto de repago de su inversión conseguido por medio del costo de operación bajo.

METODOS DE CALCULO POR PAY-BACK (PERIODO DE REPAGO)

El análisis económico del motor eléctrico con diferentes eficiencias puede ser realizado por fórmula sencilla o cálculos complicados dependiendo del grado de precisión que se desee en los resultados. La evaluación básica para determinar el período de tiempo requerido para retornar la inversión en la compra incremental incluye los siguientes parámetros:

- Costo incremental del motor.
- Eficiencia
- Costo de potencia eléctrica
- Tiempo de operación por año

Para dos motores con diferentes eficiencias, las ecuaciones más usuales para ser usadas son :

$$S = 0,746 \times \text{H.P.} \times C \times N \times \left(\frac{100}{E_B} - \frac{100}{E_A} \right) \quad (2.28)$$

$$P = \frac{C_A - C_B}{s} \quad (2.29)$$

donde:

S : Ahorros en sucres por año.

H.P. : Caballaje nominal de la carga especificada.

C : Costo de energía, sucres por KW-H

N : Tiempo funcionando, horas por año.

E_A : Eficiencia (en %) del motor A a la carga especificada.

E_B : Eficiencia (en %) del motor B a la carga especificada.

P : Pay-Back en años del costo incremental del motor.

C_A : Costo inicial del motor A.

C_B : Costo inicial del motor B.

Los ahorros son determinados por comparación del motor A más eficiente con un motor B menos eficiente a costo de potencia fijo y tiempo anual de operación. Los años a repagarse la inversión es calculada dividiendo la diferencia de precios para el ahorro.

EJEMPLO # 1 :

En el siguiente ejemplo se va a ilustrar la inversión potencial de un motor de alta eficiencia de 150 H.P. usando la ecuación (2.28),

operando 4.000 horas/año (2 turnos 5 días , 50 semanas) con costo de potencia de 6 sucres/KW-H y el motor eficiente opera a 95,8% eficiencia y el estándar opera a 93%.

$$S = 0.746 \frac{\text{KW}}{\text{H.P.}} (150 \text{ H.P.}) (6 \text{ \$/KW-h}) 4.000 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \left(\frac{100}{93} - \frac{100}{95.8} \right)$$

$$S = 84,485 \text{ \$/año}$$

La diferencia de costo entre un motor de alta eficiencia de 150 H.P. y uno estándar es de aproximadamente s/. 300.000,00. Así que, el motor eficiente pagará su costo adicional en más o menos 3 años y medio, que es un tiempo razonable.

Si el motor de 150 H.P., con el mismo criterio, fue usado para una bomba de pozo con un funcionamiento esporádico de máximo 300 H/año de servicio, el análisis sería :

$$S = 84,485 \frac{\text{s/.}}{\text{año}} \frac{300 \text{ horas}}{4.000 \text{ horas}} = 6,336 \frac{\text{s/.}}{\text{año}}$$

En este caso tomaría 47 años para recuperar la inversión adicional por la compra de un motor de alta eficiencia, lo cual no justifica la adquisición de éste. Como ha sido demos-

trado, las horas-año de funcionamiento es un factor muy decisivo para decidir la adquisición de un motor de alto rendimiento.

CONSIDERANDO FACTOR DE PENALIZACION.

El método anterior de análisis por repago (payback) puede quedar impráctico cuando se intenta evaluar grupo de motores y existen varias ofertas competitivas. Una técnica más sofisticada, para equiparar la diferencia en el costo total entre dos o más motores con capacidades idénticas, pero con precios de compras y niveles de eficiencia diferente, es calcular el factor de penalidad : sucres/KW de pérdida. Este factor está basado sobre costo eléctrico, tiempo de operación y período de evaluación (vida útil del motor). El factor de penalidad es desarrollado sobre los fundamentos de evaluación económica del valor presente neto, además también se considerará la tasa de incremento del costo de la potencia eléctrica.

Las ecuaciones para determinar dicho factor son las siguientes :

$$S/. / Kw - \text{p\u00e9rdidas} = C \cdot N \cdot n \quad (2.30)$$

Al ajustar la f\u00f3rmula basada sobre valor presente, la tasa de retorno efectiva es determinada por :

$$i = \frac{1 + r_1}{1 + r_2} - 1 \quad (2.31)$$

Y el valor presente es desarrollado sobre "n" a\u00f1os de vida :

$$\sum_{n=1}^{n=n} \left(\frac{1}{1+i} \right)^n = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2.32)$$

Entonces la ecuaci\u00f3n se convierte en :

$$S/. / Kw - \text{p\u00e9rdidas}_{(VP)} = C \cdot N \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.33)$$

Donde:

N : Tiempo de funcionamiento, horas por a\u00f1o.

C : Costo de energ\u00eda, S/. / Kw-h

n : Vida econ\u00f3mica del motor (para prop\u00f3sitos de depreciaci\u00f3n).

r_1 : Tasa de retorno del capital.

r_2 : Tasa de aumento del costo de la potencia por año.

i : Tasa de retorno efectiva (relaciona a la tasa de retorno del capital gastado con reconocimiento del incremento del costo de potencia).

VP : Valor presente.

Una vez que el factor S./Kw-pérdidas es determinado para un proyecto en particular o sitio de planta, éste puede ser usado para realizar la compra más óptima del motor. Usando el mismo criterio y los mismos datos del ejemplo #1, se va a analizar la decisión de compra por el método del factor de penalidad.

EJEMPLO # 2 :

Resolviendo la ecuación basado sobre valores hipotéticos de :

N : 4.000 horas y 300 horas por año.

C : S/.6/Kw-h

n : 7 años

r_1 : 35%

r_2 : 27%

$$i = \frac{1 + 0.35}{1 + 0.27} - 1 = 6.3\%$$

El factor de pérdidas penalizado será :

$$S./Kw-p\acute{e}rdidas_{(VP)} = (6)(N) \left[\frac{(1 + 0.063)^7 - 1}{(0.063)(1 + 0.063)^7} \right]$$

$$S./Kw-p\acute{e}rdidas_{(VP)} = (6)(N)(5.52)$$

A	4000 horas	300 horas
S./Kw-p\acute{e}rdidas _(VP)	= 6x4000x5,52	= 6x300x5,52
	= 132.480	9.936

Una vez que estos valores han sido establecidos, ellos pueden ser aplicados como sigue para hacer la apropiada selecci3n del motor:

150 H.P./1.800 R.P.M.

	4.000 horas		300 horas	
	MOTOR A	MOTOR B	MOTOR A	MOTOR B
Eficiencia	95,8	93	95,8	93
Kw p\acute{e}rdidas ⁽¹⁾	4.906	8.423	4.906	8.423
Precio inicial	1'480.000	1'140.000	1'489.000	1'140.000
Costo de p\acute{e}rdidas ⁽²⁾	649.947	1'115.879	48.746	83.691
Costo total	2'129.947 ^(*)	2'255.879	1'528.746	1'223.691 ^(*)

$$^{(1)} \text{ Kw p\acute{e}rdidas} = 0.746 \times \text{H.P.} \times \left(\frac{100}{E} - 1 \right)$$

$$^{(2)} \text{ Costo de p\acute{e}rdidas} = \text{Kw p\acute{e}rdidas} \times \text{Factor de penalizaci3n por p\acute{e}rdidas}$$

^(*) Mejor selecci3n

CAPITULO III

ILUMINACION

Aunque dentro del alumbrado, no se puede conseguir grandes ahorros de energía, es necesario conocer algo de métodos de iluminación, nuevas lámparas de alto rendimiento, niveles mínimos de iluminación, etc.

3.1 CONCEPTOS BASICOS

3.1.1 DEFINICIONES

LUZ : Es un fenómeno electromagnético relacionado con la radiación, refracción, transmisión, y absorción de ondas electromagnéticas. La unidad de potencia luminosa es el "lumen".

a) INTENSIDAD LUMINOSA (I) : Es la cantidad normal básica de luz ; todas las otras cantidades son derivadas de ésta. La unidad de intensidad luminosa es la "candela" (cd). Una candela es aproximadamente la intensidad de una vela vista en un plano horizontal.

Un lumen es una unidad de flujo luminoso total.

La potencia de una fuente luminosa es típicamente dada en "candela de potencia" (cp).

Una fuente uniforme de una candela radia 4π lumens de flujo luminoso. En general, las fuentes luminosas son direccionales. Candela de potencia (cp) es usada para describir la potencia aparente de una fuente en una dirección particular. Además, esto es una medida de densidad-flujo sobre un ángulo sólido básico y tiene unidades de candelas, las cuales son equivalentes a lumens por estereoradian. Candela de potencia (cp) es usada siempre para describir una fuente luminosa y su intensidad luminosa en alguna dirección está dada en unidades de candela (cd).

b) FLUJO LUMINOSO (Φ) :

Flujo luminoso es definido como un lumen (lm) cuando la fuente puntual de una candela ilumina un pie cuadrado de una esfera que tiene un radio de un pie, el cual es centrado sobre la fuente puntual. Esto es, el flujo incidente sobre una área de un pie cuadrado es un lumen.

c) ILUMINACION (E) :

Iluminación es la densidad de flujo medido en unidades de lumens por pie-cuadrado, o lux que es 1 lumen/m², o pie-candela. La iluminación está sujeta a la ley del coseno. Para una fuente puntual de luz como se muestra en la Fig. 3.1, la iluminación sobre un punto a una distancia D desde la fuente es:

$$E = I \frac{\cos(a)}{D^2} \quad (3.1)$$

d) LUMINANCIA O BRILLANTES FOTOMETRICA (L) :

La intensidad luminosa aparente de una superficie, ya que esto es también emisión o reflexión luminosa, es llamada luminancia o brillantes fotométrica.

La luminancia debido a la luz reflejada es normalmente calculada con el coeficiente de reflexión R y la iluminación.

$$L(\text{pie-lamberts}) = E(\text{pie-candela}) \times R \quad (3.2)$$

La luminancia debido a la luz transmitida a través de un difusor es típicamente calculada

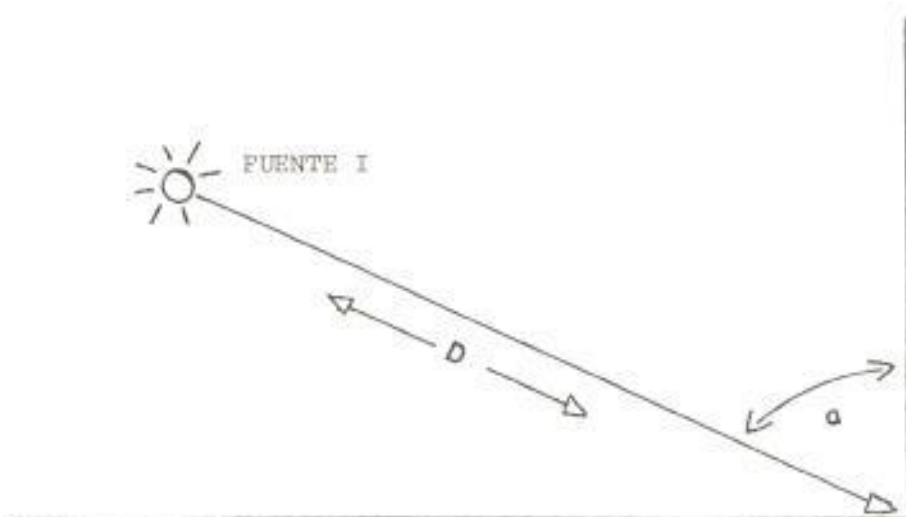


FIG. 3.1 DEPENDENCIA ANGULAR DE LA ILUMINACION.

da por la iluminación incidente y el coeficiente de transmisión (T).

$$L(\text{pie-lamberts}) = E(\text{pie-candela}) \times T \quad (3.3)$$

e) RENDIMIENTO LUMINOSO (η) :

Indica el flujo que emite una fuente luminosa por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. La fórmula que expresa el rendimiento es :

$$\eta = \frac{\Phi \text{ lumen}}{W \text{ watio}} \quad (3.4)$$

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz de una longitud de onda de 555 nm, esta lámpara tendría el mayor rendimiento luminoso posible, cuyo valor sería 680 lm/w. La Tabla VII presenta algunos rendimientos luminosos.

En la Tabla VIII, se va a resumir las magnitudes y unidades luminosas fundamentales.

f) REFLEXION :

Si un rayo o un haz de rayos luminosos incide sobre una superficie brillante, se refle

TIPO DE LAMPARA	POTENCIA NOMINAL w	RENDIMIENTO LUMINOSO Lm/w
Efluvios	0.3	2
Incandescente estándar 40 w/220v	40	11
Fluorescente L40w/20 (blanco frío)	40	80
Mercurio de alta presión HQL 400w	400	58
Halogenuros metálicos HQI 400w	400	78
Sodio de alta presión Na V-T 400w	400	120
Sodio de baja presión Na 180w	180	175

TABLA VII RENDIMIENTO LUMINOSO DE ALGUNAS LAMPARAS

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDAD	DEFINICION DE LA UNIDAD	RELACIONES
Flujo luminoso	ϕ	Lumen (lm)	Flujo emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente con una intensidad luminosa de una candela.	$\phi = I \omega$
Rendimiento luminoso	η	Lumen por vatio (lm/w)	Flujo luminoso emitido por una unidad de potencia	$\eta = \frac{\phi}{W}$
Cantidad de luz	Q	Lumen por segundo (lms) Lumen por hora (lmh)	Flujo luminoso emitido por unidad de tiempo	$Q = \phi t$
Intensidad luminosa	I	Candela (Cd)	1/60 de la intensidad luminosa por cm^2 del "cuerpo negro" a la temperatura de fusión del platino (2.046°K)	$I = \frac{\phi}{W}$
Iluminancia	E	Lux (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de 1 m^2 .	$E = \frac{\phi}{S}$
Luminancia	L	Candela por m^2 (Cd/m ²) Candela por cm^2	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie.	$L = \frac{I}{S}$

TABLA VIII RESUMEN DE MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS

ja en la misma forma que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

En la reflexión de la luz interviene de manera decisiva la constitución de la superficie reflectante, distinguiéndose respecto a la misma las siguientes clases de reflexión: dirigida, difusa, semidirigida y semidifusa.

g) TRANSMISION :

Es la propagación de la luz a través de los cuerpos transparentes o translúcidos. En este fenómeno, la dirección de los rayos luminosos queda modificada o se desplaza por refracción. Igual que en la reflexión el material de los cuerpos determina el tipo de transmisión.

h) ABSORCION :

En los fenómenos de reflexión y transmisión, parte de la luz que incide sobre los cuerpos es absorbida en mayor o menor proporción según la constitución de los materiales que los componen; de aquí que los fenómenos de reflexión, transmisión y absorción tengan una estrecha relación. La absorción siem-

pre representa una pérdida de luz.

3.1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VISION.

En la percepción visual de los objetos influyen los siguientes factores :

- iluminación
- contraste
- sombras
- deslumbramiento
- ambiente cromático

Todos guardan una relación entre sí y cualquiera de ellos puede tener un valor decisivo.

a) ILUMINACION :

En numerosas investigaciones se ha podido comprobar que la capacidad visual depende de la iluminación y ésta, a su vez, afecta al estado de ánimo de las personas, a su aptitud para desarrollar un trabajo, a su poder de relajación, etc. Cada actividad requiere una determinada iluminación que debe existir como valor medio en la zona en que se desarrolla aquella.

El valor medio de iluminación para una determinada actividad están en función de una serie de factores entre los que se puede citar :

- Tamaño de los detalles a captar.
- Distancia entre el ojo y el objeto observado.
- Factor de reflexión del objeto observado.
- Contraste entre los detalles del objeto y el fondo sobre el que destaca.
- Tiempo empleado en la observación.
- Rapidez de movimiento del objeto.
- Edad promedio de los usuarios de dicho alumbrado.

b) CONTRASTE :

El ojo sólo aprecia diferencias de luminancia. La diferencia de luminancia entre el objeto que se observa y su espacio inmediato, es lo que se conoce por contraste. Los trabajos que requieran gran agudeza visual precisan de una mayor contraste.

Combinando bien los grados de reflexión de

las superficies de un recinto, se obtiene una distribución armónica de la luminancia, produciéndose con ello un contraste fácil de distinguir.

c) SOMBRAS :

Son el resultado de una diferencia de luminancia respecto a zonas más iluminadas.

d) DESLUMBRAMIENTO :

Es un fenómeno fisiológico que reduce la capacidad visual, debido a un exceso de luminancia a la que el ojo no puede adaptarse; ello provoca una enérgica reacción fotoquímica de la retina, insensibilizándola durante un cierto tiempo, transcurrido el cual vuelve a recuperarse. El valor máximo tolerable de luminancia para la visión directa es de 7.500 cd/m^2 .

Los factores determinantes del deslumbramiento son :

- La luminancia de la fuente de luz o de las superficies iluminadas.
- La situación de la fuente de luz. Cuando

más lejos se encuentra la fuente en la línea de visión menor deslumbramiento produce. Por otra parte, también disminuye el deslumbramiento a medida que la fuente queda más por encima del ángulo visual normal.

- El tiempo de exposición : Una luminancia de bajo valor puede producir deslumbramiento si el tiempo de exposición es largo.

Las máximas relaciones de luminancia admisibles en el campo visual del observador, al objeto de evitar deslumbramiento, son las siguientes :

Entre la tarea visual y la superficie de trabajo..	3:1
Entre la tarea visual y el espacio circundante ..	10:1
Entre la fuente de luz y el fondo	20:1
Máxima relación de luminancia en el campo visual	4:1

3.2 CALCULOS DE ILUMINACION

3.2.1 CALCULO PARA ALUMBRADO DE INTERIORES

En el alumbrado de interiores existen tres sistemas relacionados con la distribución de la

luz sobre el área a iluminar. Estos tres métodos son los siguientes :

ALUMBRADO GENERAL .- Se denomina de esta forma al alumbrado en el cual el tipo de luminaria, su altura de montaje y su distribución se determina de forma que se obtenga una iluminación uniforme sobre toda la zona a iluminar.

La distribución luminosa más normal se obtiene colocando las luminarias de forma simétrica en filas. A veces cuando se emplean lámparas fluorescentes puede resultar una colocación de luminarias en línea recta.

ALUMBRADO GENERAL LOCALIZADO .- Aquí las luminarias se colocan de tal forma que proporcionan una iluminación general y permite aumentar el nivel de las zonas que lo requieran.

ALUMBRADO LOCALIZADO .- Consiste en producir un nivel medio de iluminación general más o menos moderado y colocar un alumbrado directo para disponer de elevados niveles medios de iluminación en aquellos puestos específicos de trabajo que lo requieran.

En el estudio de todo alumbrado debe determinarse para cada caso cual de los tres sistemas citados es el más conveniente.

Actualmente el alumbrado general es el más usado debido a que proporciona mejores condiciones de visibilidad.

a) CALCULO DE UN ALUMBRADO INTERIOR POR EL METODO DEL RENDIMIENTO DE LA ILUMINACION :

Para el cálculo de un alumbrado interior debe partirse de los datos fundamentales relativos a :

- Tipo de actividad a desarrollar
- Dimensiones y características físicas del local a iluminar.

Conocidos estos datos se puede fijar la iluminancia media a obtener, tipo de luminaria, distribución más conveniente, etc. Con los datos anteriores se efectúan los cálculos correspondientes para hallar el flujo luminoso necesario y fijar respecto al mismo la potencia de las lámparas, el número de puntos de luz y la distribución de luminarias.

El flujo luminoso total necesario se calcula aplicando la fórmula :

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_c} \quad (3.5)$$

Donde :

ϕ_T : Flujo luminoso total necesario (lúmenes).

E_m : Iluminancia media (lux)

S : Superficie a iluminar (m^2)

η : Rendimiento de la iluminación

f_c : Factor de conservación de la instalación.

i. ILUMINANCIA MEDIA (E_m) :

La iluminancia media se fija de acuerdo con la actividad a desarrollar generalmente según tablas confeccionadas con arreglo a los factores que influyen en la visión.

En el Apéndice C, Tabla I, se indican las iluminancias medias recomendadas para el alumbrado de interiores en función de la clase y lugar de trabajo.

ii. RENDIMIENTO DE LA ILUMINACION (η) :

Este depende de dos factores principales: rendimiento del local (η_R) y rendimiento de la luminaria (η_L), entre ellos existe la siguiente relación :

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_L \quad (3.6)$$

El rendimiento del local depende de las dimensiones de éste y de los factores de reflexión del techo (ρ_1), paredes (ρ_2) y suelo (ρ_3) (ver Apéndice C, Tabla II), y de la forma de distribución de la luz por la luminaria (curva fotométrica); tanto la curva fotométrica como el rendimiento de la luminaria debe ser proporcionado por el fabricante de ésta.

La influencia de las dimensiones del local en el rendimiento del mismo, viene dada por un índice que las relaciona, llamado índice del local (K), según las fórmulas :

$$K = \frac{a \times b}{h (a + b)} \quad (3.7)$$

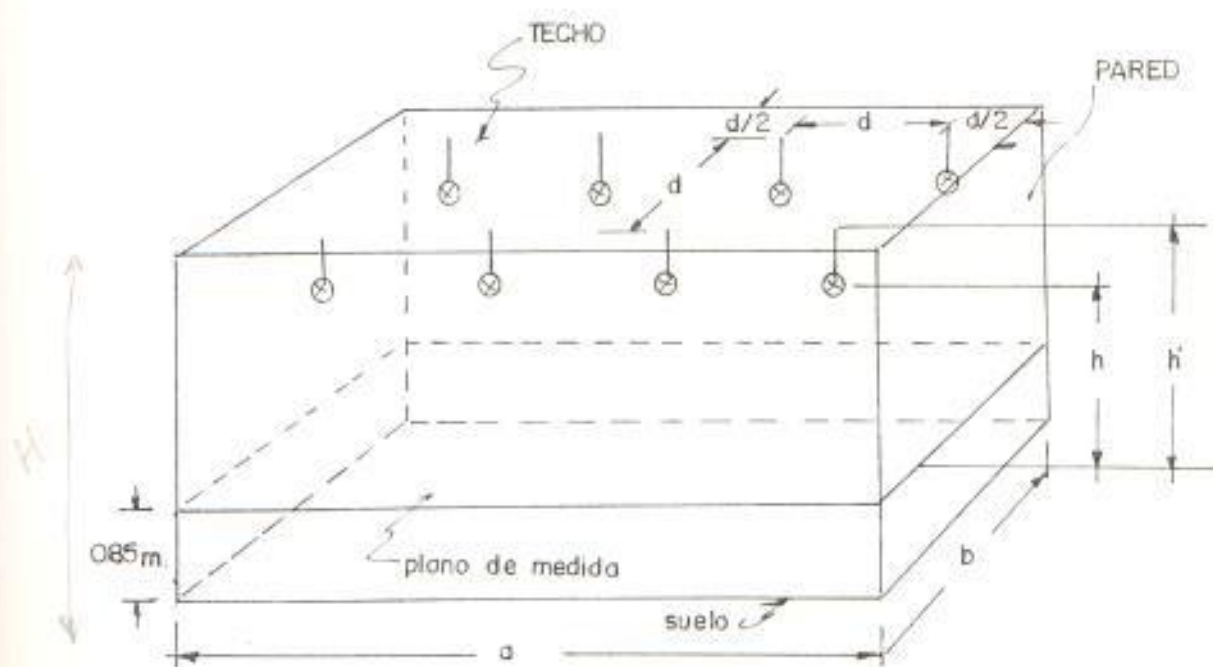


Fig. 3.2 ESQUEMA DE UN RECINTO INTERIOR CON MEDIDAS





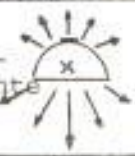



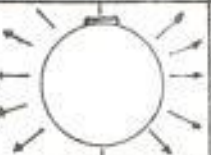










	Muy dirigida 1	Intensiva 2	Extensiva 3	Difusa 4
A Directa 				
B Predominantemente directa 	Intensiva			
C Uni- forme 	Intensiva y de radiación elevada			
D Predominantemente indirecta 	De radiación elevada			
E Indirecta 	De radiación elevada			

Fig.3.3 CURVAS DE DISTRIBUCION SIMETRICA DE LA INTENSIDAD LUMINOSA SEGUN DIN 5040 (Con luminarias para lámparas fluorescentes y similares, se toma como base la curva de valor medio de la respectiva luminaria).

res de reflexión del techo, paredes y suelos del local, tomando como base una distribución regular de las luminarias según se indica en la Fig. 3.2.

iii. FACTOR DE CONSERVACION :

El factor queda determinado por la pérdida del flujo luminoso de las lámparas, debida tanto a su envejecimiento natural como el polvo o suciedad que quede depositarse en ellas, y a las pérdidas de reflexión o transmisión de la luminaria por los mismos motivos.

Los valores del factor de conservación oscilan entre el 0.5 y 0.80. El valor más alto corresponde a instalaciones situadas en locales limpios, efectuadas con luminarias cerradas y lámparas de baja depreciación lumínica, en los que se efectúan limpiezas frecuentes y reposiciones de lámparas totales o por grupos, mientras que el valor más bajo corresponde a locales polvorientos o sucios con un deficiente mantenimiento de la instalación de alumbrado.

iv. NUMERO DE PUNTOS DE LUZ (N) :

El número de puntos de luz, respectivamente de luminarias, se calcula dividiendo el valor del flujo total necesario por el flujo luminoso nominal de lámpara o lámparas contenidas en una luminaria.

$$N = \frac{\phi_T}{\phi_L} \quad (3.9)$$

Donde:

N : Número de puntos de luz o luminarias

ϕ_T : Flujo luminoso total necesario

ϕ_L : Flujo luminoso nominal de las lámparas contenidas en una luminaria.

De la fórmula anterior se deduce que para un mismo flujo luminoso total, el número de puntos de luz disminuye a medida que aumenta el flujo luminoso de cada luminaria. Es lógico que si se utilizan luminarias con lámparas de elevado flujo luminoso, se consigue el mismo flujo total con menor inversión económica, pero hay que tener en cuenta también que, al disminuir el número de puntos de luz, la uniformidad media de la iluminación será menos e-

fectiva, ya que tendrá que existir una mayor separación entre ellos para su distribución regular dando lugar a zonas intermedias con menor iluminación.

La uniformidad media se determina por un factor que relaciona la iluminancia mínima con la iluminancia media de la siguiente forma :

$$fu.m = \frac{E_{med}}{E_{min}} \quad (3.10)$$

Para conseguir una uniformidad media aceptable a la vez que un mínimo riesgo de deslumbramiento, las luminarias han de distribuirse manteniendo siempre una determinada altura (h) sobre el plano de trabajo y la correspondiente distancia (d) entre las mismas.

v. ALTURA DE LAS LUMINARIAS SOBRE EL PLANO DE TRABAJO (h) :

La altura que debe tomarse para las distintas clases de iluminación viene dada por las siguientes relaciones :

$$\text{Altura mínima } h = \frac{2}{3} h' \quad (3.11)$$

$$\text{Altura aconsejable } h = 3/4 h' \quad (3.12)$$

$$\text{Altura óptima } h = 4/5 h' \quad (3.13)$$

En el caso de iluminación indirecta y semi-indirecta no debe superarse el valor correspondiente a la altura óptima.

vi. DISTANCIA ENTRE LUMINARIAS (d) :

La distancia entre luminarias está en función de la altura h sobre el plano de trabajo.

Según sea el ángulo de abertura del haz de la luminaria, habrán de tomarse diferentes distancias. Estas distancias son tres :

Para luminarias con distribución intensiva $d \leq 1.2h$

Para luminarias con distribución semi-intensiva o semiextensiva $d \leq 1.5h$

Para luminarias con distribución extensiva $d \leq 1.6h$

La selección del tipo de luminaria con respecto a la altura del local se hace de la siguiente forma :

<u>ALTURA DEL LOCAL</u>	<u>TIPO DE LUMINARIA</u>
Hasta 4 m.	Extensiva
de 4 a 6 m.	Semi-extensiva
de 6 a 10 m.	Semi-intensiva
más de 10 m.	Intensiva

EJEMPLO :

ALUMBRADO INTERIOR DE GALPON INDUSTRIAL
(INDUSTRIA ELECTROTECNICA)

DATOS DEL LOCAL

Longitud	a = 60 m
Anchura	b = 18 m
Altura	H = 12 m
Altura máxima de la grúa	= 8 m
Color del techo	= gris semioscuro
Color de paredes	= hormigón claro
Color del suelo	= madera oscura

ILUMINANCIA MEDIA

$E_m = 250$ Lux (según Tabla I, Apéndice C)

TIPO DE LAMPARA

Vapor de mercurio a alta presión, color corregido, HQL400w, como más apropiada por su alto rendimiento luminoso, larga vida y color de luz.

Flujo luminoso de la lámpara $\phi_L = 23.000 \text{ Lm}$

SISTEMA DE ALUMBRADO

Directo, como más adecuado para locales industriales de gran altura.

TIPO DE LUMINARIA

Intensiva con reflector de aluminio anodizado, por ser la altura del local mayor de 10 m.

Curva de distribución luminosa A.1.1 (según Tabla III, Apéndice C).

ALTURA DE LUMINARIAS

Tomando una altura del plano de trabajo sobre el suelo de 0.85 m tendremos :

$$h' = H - 0.85 = 12 - 0.85 = 11.15 \text{ m}$$

$$\text{Altura mínima} \dots h = \frac{2}{3} h' = \frac{2 \times 11.15}{3} = 7.43$$

$$\text{Altura aconsejable} \quad h = \frac{3}{4} h' = \frac{3 \times 11.15}{4} = 8.36$$

$$\text{Altura óptima} \quad h = \frac{4}{5} h' = \frac{4 \times 11.15}{5} = 8.92$$

Tomamos una altura de $h=8.5 \text{ m}$ con lo cual las luminarias quedan por encima de la grúa y el mantenimiento se podrá hacer di

rectamente de ésta.

INDICE DEL LOCAL

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} = \frac{60 \times 18}{8,5(60 + 18)} = 1.63$$

FACTORES DE REFLEXION (Según Tabla II, Apéndice C) :

$$\rho_1 = 0.30$$

$$\rho_2 = 0.30$$

$$\rho_3 = 0.1$$

RENDIMIENTO DEL LOCAL :

$$\eta_R = 1.07 \text{ (interpolando entre } k=1.5 \text{ y } k=2 \text{ en la Tabla III, Apéndice C).}$$

RENDIMIENTO DE LA LUMINARIA :

$$\eta_L = 0.78 \text{ (Dato del fabricante)}$$

RENDIMIENTO DE LA ILUMINACION :

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_L = (1.07)(0.78) = 0.835$$

FACTOR DE CONSERVACION :

$$f_C = 0.6 \text{ (previendo una conservación aceptable).}$$

FLUJO LUMINOSO TOTAL NECESARIO :

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_C} = \frac{250 \times 1,080}{0.835 \times 0.6} = 538,922$$

$$N = \frac{\phi_T}{\phi_L} = \frac{538.922}{23.000} = 23,4$$

Tomamos 24 puntos de luz para su mejor distribución, según se indica en la Figura 3.4.

Las distancias entre puntos de luz cumplen con el valor dado en (vi.) $d \leq 1,2 h$, que asegura una buena uniformidad.

3.2.2 COSTO DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

El conocimiento del costo de las distintas soluciones que satisfacen las exigencias visuales de un determinado alumbrado es necesario para la selección de aquella que resulte más ventajosa respecto a las posibilidades económicas disponibles.

En la Tabla IX, se indica una forma típica de análisis de costo de explotación de una instalación de alumbrado. No se han considerado los costos iniciales y de conservación de los centros de mando y soportes, por estimarse que los mismos son prácticamente iguales para

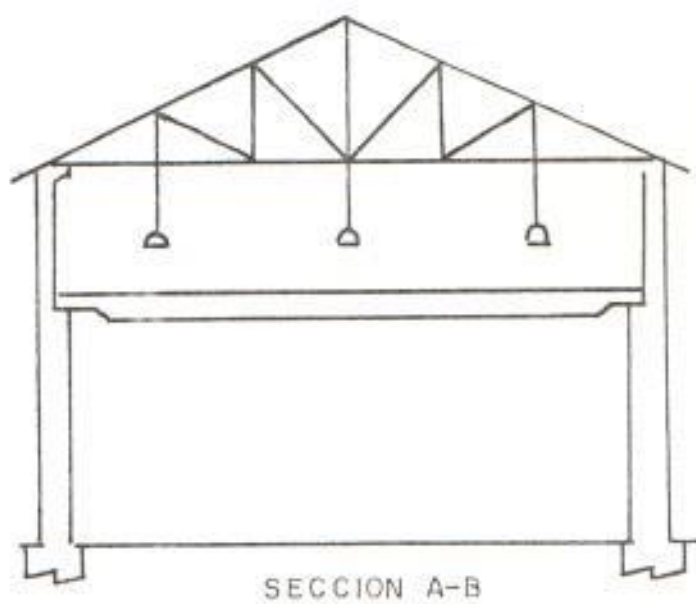


Fig. 3.4 DISTRIBUCION DE LUMINARIAS PARA EL ALUMBRADO GENERAL DE UN TALLER UNA INDUSTRIA.

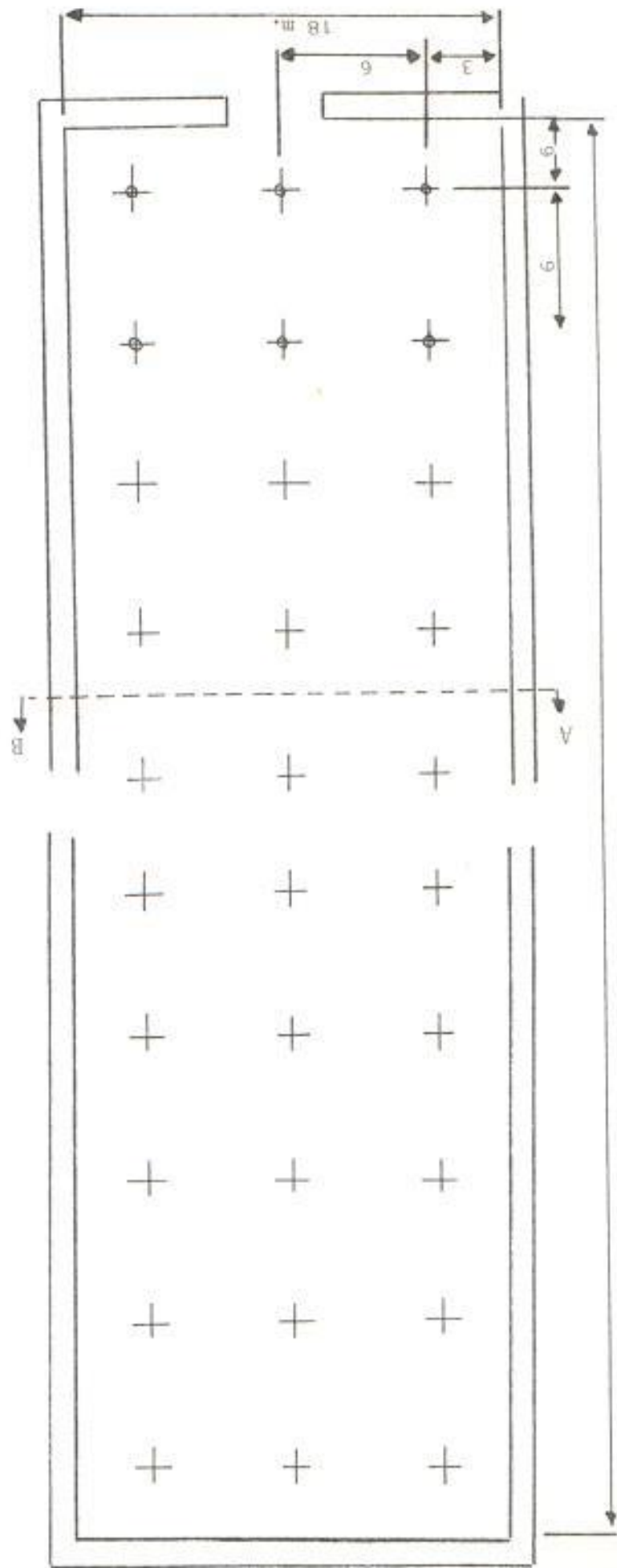


Fig. 3.4 (continuación)

Descripción del punto de luz	1. Tipo de lámpara ✓ 2. Tipo de luminaria ✓ 3. Número de lámparas por luminaria ✓
Datos básicos	4. Lúmenes iniciales por luminaria ✓ 5. Vida de la lámpara ✓ 6. Consumo (en W) por luminaria (consumo de lámparas + accesorios + 3% por pérdidas en línea). ✓ 7. Factor de utilización ✓ 8. Factor de conservación ✓ 9. Costo de energía por Kw-h ✓ 10. Utilización anual ✓
Costo inicial	11. Costo de luminaria ✓ 12. Costo de accesorios (reactancias, condensadores, etc.) por luminaria. ✓ 13. Costo estimativo de los conductores por luminaria. ✓ 14. Costo neto de la lámpara ✓ 15. Costo neto de las lámparas por luminaria (3 x 14) ✓ 16. Costo total por luminaria (11 + 12 + 13 + 15) ✓
Amortización anual	17. Costo inicial por luminaria, sin lámparas (11 + 12 + 13). ✓ 18. Amortización anual (?) ✓
Costos anuales de conservación y consumo de energía	19. Número de lámparas reemplazadas anualmente (3 x 10 ÷ 5). ✓ 20. Costo anual por reemplazamiento de lámparas (14 x 19) ✓ 21. Costo anual de los accesorios reemplazados ✓ 22. Costo anual de reemplazamiento de materiales (20 + 21). ✓ 23. Costo de reposición de una lámpara ✓ 24. Costo total de reposición (19 x 23) ✓

TABLA IX ESTUDIO DE COSTOS POR PUNTO DE LUZ

	<p>25. Costo estimativo de la limpieza de una luminaria.</p> <p>26. Número de limpiezas anuales por luminaria</p> <p>27. Costo anual de limpieza (25 x 26)</p> <p>28. Costos totales de conservación (22 + 24 + 27)</p> <p>29. Costo total de energía por luminaria (6 x 9 x 10 ÷ 1.000)</p>
Costos anuales de explotación	<p>30. Costos anuales de explotación (18 + 28 + 29)</p> <p>31. Costos anuales de explotación por 1.000 l.m. útiles :</p> $1.000 \times \frac{30}{4 \times 7 \times 8}$

TABLA IX ESTUDIO DE COSTOS POR PUNTO DE LUZ (continuación)

para cualquier instalación en la que únicamente se varía la luminaria o la fuente de luz.

Cuando se trate de estudiar por separado el tipo de lámpara cuyo empleo resulte más ventajoso para un cierto número de horas de servicio anual puede utilizarse la Tabla X.

3.3 TECNICAS PARA CONSERVACION DE ENERGIA EN SISTEMAS DE ILUMINACION.

La selección apropiada del sistema de iluminación es crítica ya que esto incide directamente en la eficiencia de la planta. En estos últimos años se ha hecho algunos estudios que muestran la relación entre las variaciones del nivel de iluminación y la productividad del trabajador; ya que hay una relación directa, se debe ser cuidadoso al desarrollar un programa de conservación. Los resultados de un estudio de la productividad de un trabajador como una función de la variación de los niveles de iluminación son presentados en la Fig. 3.5; donde se observa que la tendencia en productividad muestra una relación directa entre el incremento de niveles de iluminación y mejora en la productividad del trabajador.

Lumenes de la lámpara Tipo A : ϕ_A Lumenes de la lámpara Tipo B : ϕ_B			
C O N C E P T O S		TIPO A	TIPO B
Datos básicos	1. Vida de la lámpara ✓ 2. Consumo en W (lámpara + accesorios + 3% línea) ✓ 3. Costo de energía por Kw-h ✓ 4. Utilización anual ✓		
Costo inicial	5. Costo de los accesorios ✓ 6. Costo neto de la lámpara ✓ 7. Costo estimativo de los conductores por lámpara. (X) 8. Costo total (5 + 6 + 7) ✓		
Amortización anual	9. Costo inicial, sin lámpara ✓? 10. Amortización anual ✓?		
Costos anuales de conservación y consumo de energía	11. Número de lámparas reemplazadas anualmente (4 ÷ 1) ✓ 12. Costo anual por reemplazamiento de lámparas (6 x 11) ✓ 13. Costo anual de conservación de accesorios ✓ 14. Costo de reposición de una lámpara ✓ 15. Costo total de reposición (11 x 14) 16. Costo total de conservación (12+13+15) ✓ 17. Costo anual de energía (2 x 3 x 4 ÷ 1.000) 7% ✓		
Costos anuales de explotación	18. Costos anuales de explotación (10+16+17) 19. Costos anuales de explotación por 1.000 Lm: $1.000 \frac{(18)}{\phi}$		

TABLA X COSTO DE UTILIZACION DE LAMPARAS DE DISTINTOS TIPOS

NOTA : Los valores ϕ_A y ϕ_B deben ser muy parecidos.

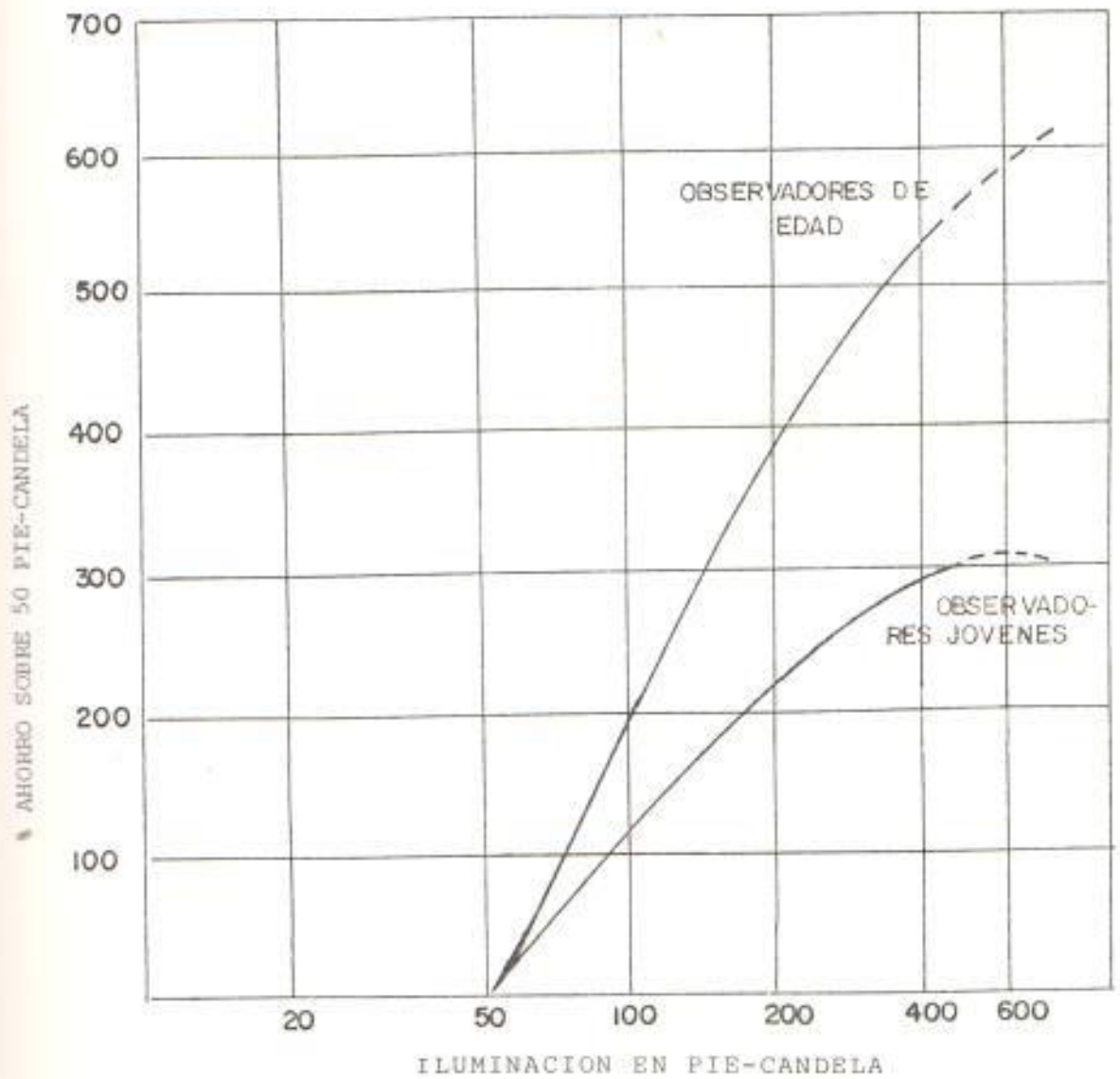


Fig. 3.5 AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD vs. AUMENTO DE NIVELES DE ILUMINACION EN 2 TIPOS DE OBSERVADORES.

3.3.1 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACION.

La eficiencia de muchos sistemas de iluminación pueden ser mejorados significativamente por la aplicación de algunas técnicas simples.

El primer paso en la evaluación de un sistema existente es chequear el programa de producción de la planta, ya que existen muchos períodos de tiempo durante una semana de trabajo en los cuales no es necesario mantener los niveles de iluminación en los edificios, durante estos períodos, la iluminación necesaria puede ser reducida.

El segundo paso de la evaluación de planta es la inspección física a fin de determinar las condiciones de las luminarias. Luminarias sucias, rotas o difusores viejos, y bombillos cerca de terminar su vida útil son todas condiciones que contribuyen a reducir la eficiencia. Parte de esta inspección sería chequear la condición de paredes y techados, paredes sucias y de color oscuro reducen la cantidad de luz reflejada y forzan al sistema a traba-

jar fuerte a fin de conseguir un buen nivel de iluminación.

Después que los pasos anteriores han sido realizados, una inspección sobre el nivel de iluminación debe ser realizado y compararlo con los niveles promedios estándares según Tabla I, Apéndice C.

Los resultados de la inspección pueden recomendar, disminuir nivel de iluminación, reemplazar con lámparas de alta eficiencia, tal vez la alternativa más costosa que es el cambio del sistema a otra fuente luminosa.

3.3.2 FUENTES DE ILUMINACION

La gran cantidad de fuentes de hoy se pueden dividir en tres categorías básicas : incandescente, fluorescente, y descarga alta-intensidad (HID, siglas en inglés).

La característica más importante de la fuente de iluminación desde el punto de vista energético es la eficiencia con lo cual ésta convierte energía eléctrica en luz. La Fig. 3.6,

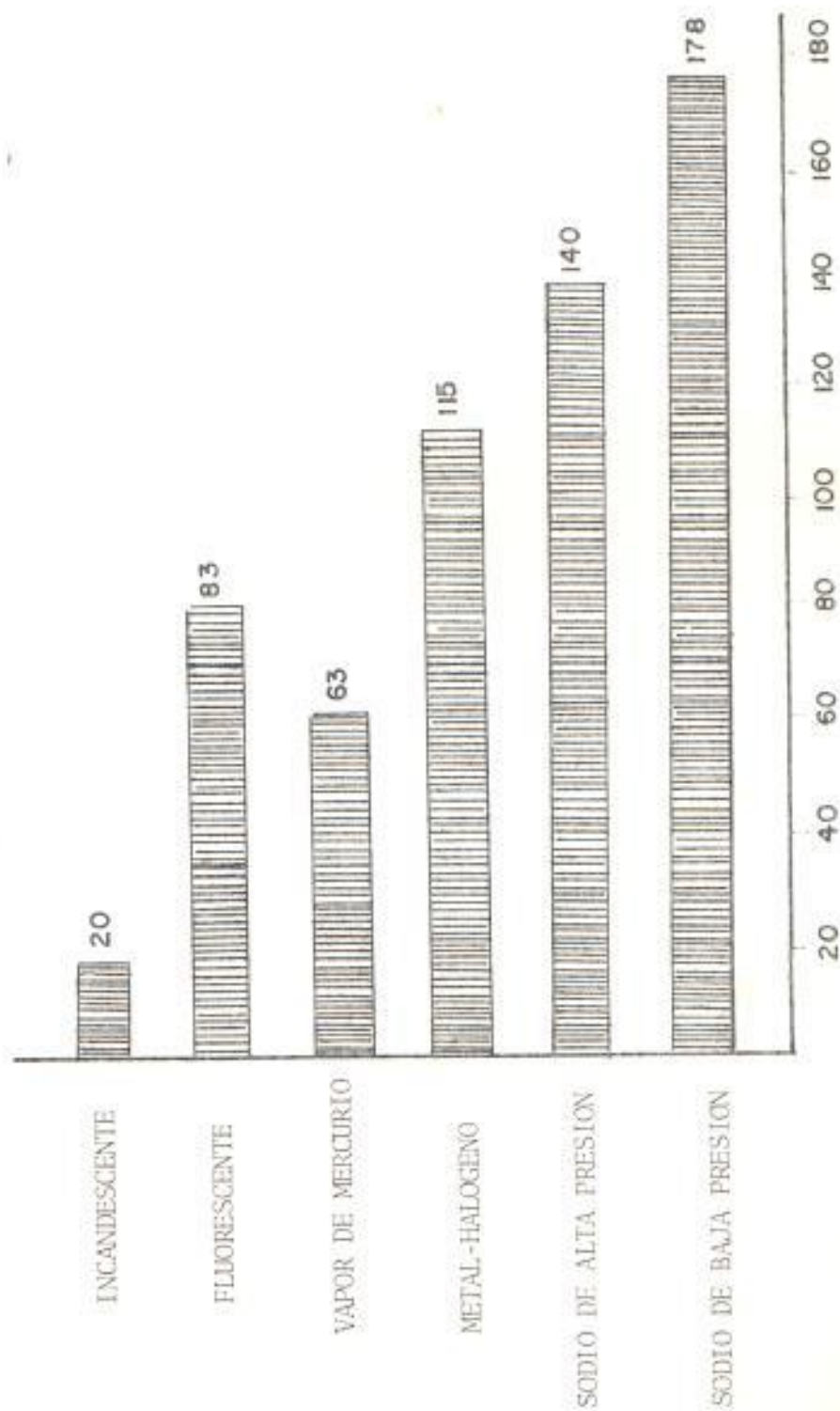


Fig. 3.6 EFICIENCIAS COMPARATIVAS (en Lm/w) DE LAMPARAS DE DIFERENTES TIPOS.

muestra el rango general de $Lm/vatio$ para cada tipo de fuente.

La carta separa la familia HID en vapor de mercurio, halogenuros metálicos, y sodio en baja y alta presión. Notar que los valores presentados en la Fig. 3.6, ignoran el efecto de la carga del balastro que requieren las fluorescente y HID; pero al momento de seleccionar un sistema de iluminación se debe considerar la eficiencia total de lámpara-luminaria-balastro como un total.

a) LAMPARAS INCANDESCENTES :

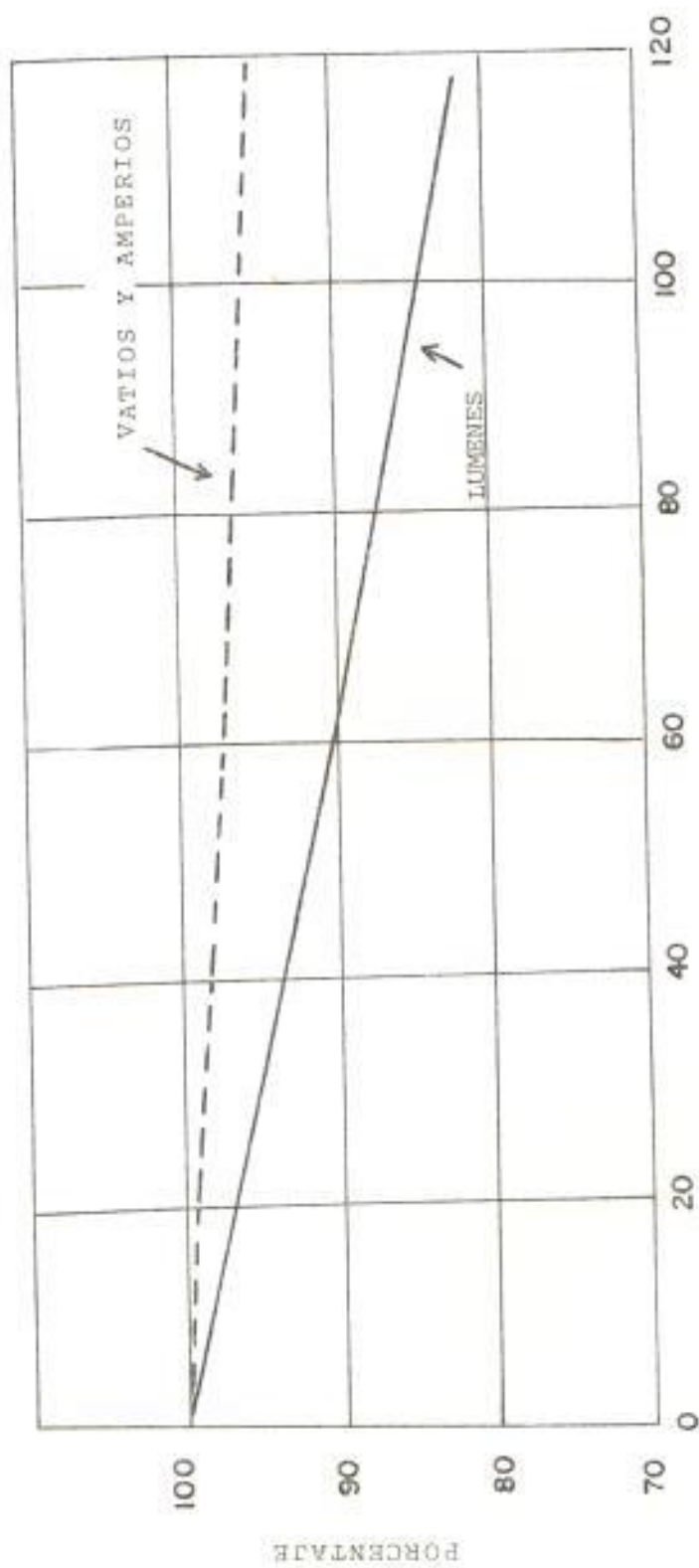
La lámpara incandescente es la fuente de menos rendimiento (17 a 24 Lm/w). En una luminaria incandescente, la luz es generada por paso de la electricidad a través de un filamento de tungsteno en una atmósfera inerte. La resistencia del alambre causa la elevación de temperatura y fundición del elemento, produciendo luz visible.

A pesar de que la lámpara incandescente es un convertidor ineficiente de energía eléctrica, existen muchas aplicaciones donde

se debe utilizar, por ejemplo donde se necesita un control de iluminación en un determinado punto, un ejemplo de esto es la iluminación en un museo. La fuente incandescente es una fuente puntual que da a sí mismo un fino control, resultando un sistema de alta eficiencia si es apropiadamente aplicado. Debido a los cambios sufridos por el filamento se produce una disminución el flujo luminoso, a medida que la vida de la lámpara aumenta, esto se lo puede ver en la Fig. 3.7.

b) LAMPARAS FLUORESCENTES :

Estas lámparas son las más predominantes en el mundo. La lámpara fluorescente es una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada a alta eficiencia por el vapor de mercurio en un gas inerte (argón, neón, kriptón) a baja presión activando a una capa de material fluorescente (fósforo) sobre una superficie inerte de tubo de vidrio, el fósforo actúa simplemente como un transformador que convierte la luz ultravioleta en



PORCENTAJE DE LA VIDA NOMINAL

Fig. 3.7 LAMPARAS INCANDESCENTES

luz visible. Un tubo fluorescente convencional de 40 w convierte aproximadamente 23% de la energía disponible en luz visible, en oposición a 11% del bulbo incandescente.

Las lámparas fluorescentes, en común con todas las lámparas de descarga, debe ser operada con un balastro que limita la corriente y provee el voltaje requerido en el arranque.

Cada fluorescente requiere un balastro que es diseñado para sus características eléctricas, tipo de circuito, y el voltaje y frecuencia de la fuente de potencia.

Una consideración importante en la especificación y selección del balastro es el factor de potencia del mismo, para la carga inductiva de un simple balastro, éste oscila entre 0.5 y 0.6 en atraso; balastros modernos son construídos con capacitores de compensación.

Ya que las fluorescentes tienen una rápida caída en su salida durante las primeras

100 horas de vida (aproximadamente un 10%)
La Fig. 3.8, no toma en cuenta este primer lapso de vida, después la caída de producción de luz es mucho más lenta. Las dos principales razones para la depreciación en el nivel de iluminación son:

- Deterioro gradual de la capa de fósforo,
- Ennegrecimiento de los extremos debido a la emisión metálica del cátodo.

c) LAMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD (HID)

Como se sabe existen varios tipos :

- Vapor de mercurio
- Sodio de alta-presión
- Sodio de baja-presión
- Halogenuros metálicos o multivapor.

El principio básico de operación de todas estas lámparas es el mismo. La luz de estas lámparas es producida por el paso de una corriente eléctrica a través de un gas o vapor bajo presión, similar a las fluorescentes.

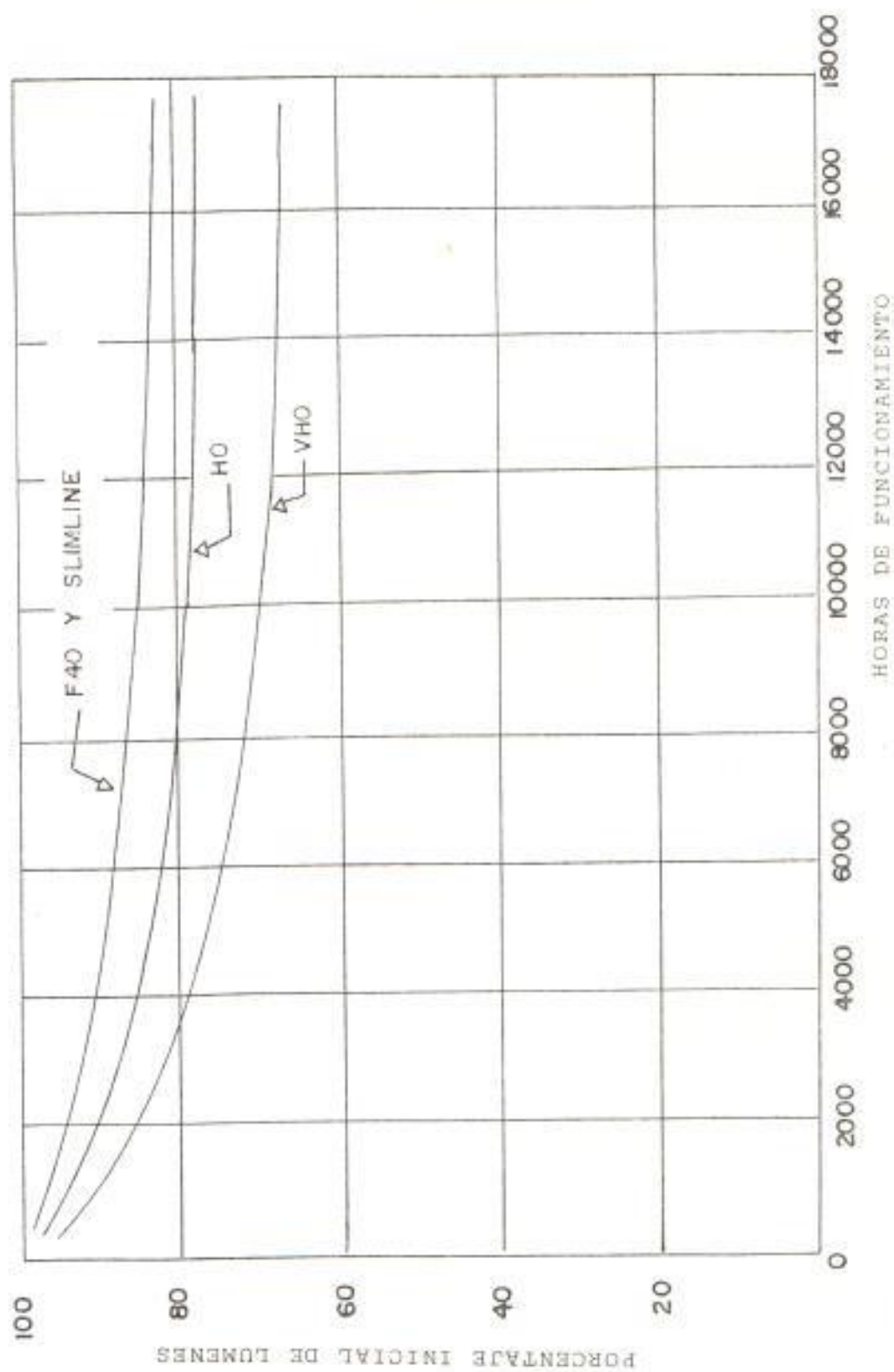


Fig. 3.8 LAMPARAS FLUORESCENTES

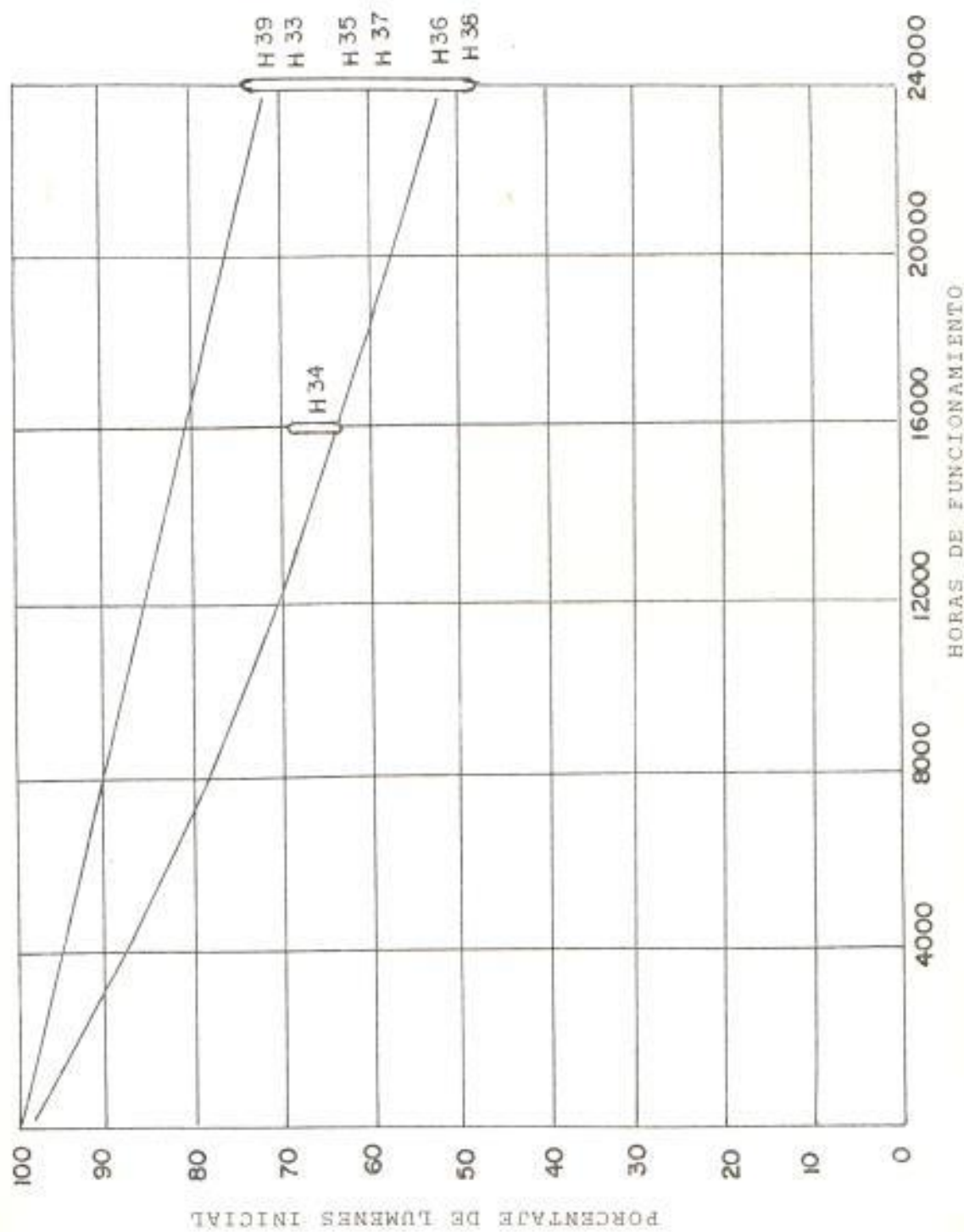
Así como otras fuentes luminosas, la salida de iluminación de las lámparas H.I.D. decrece con el tiempo, principalmente como resultado del depósito de materiales de emisión desde los electrodos. Las primeras 100 horas de vida de la lámpara es similar a la fluorescente. La curva de depreciación para una lámpara de mercurio es presentada en la Fig. 3.9. Las otras curvas de los otros tipos de lámparas H.I.D., no son idénticas, pero sí similares.

La aplicación de estas lámparas es para iluminación de grandes áreas, como calles, patios, etc.; pero actualmente en muchas industrias también se usan.

3.3.3. REORDENAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION.

Significativos ahorros de energía pueden ser conseguidos a través de modificaciones en el sistema existente, ya sea por reducción del número de luminarias o por el reemplazo de otras lámparas nuevas con más eficiencia.

En el caso de lámparas incandescentes existen



tres opciones básicas : La primera es cambiar con lámparas incandescente de más bajo vateaje o de diseño diferente; la segunda alternativa es utilizar uno de los muchos bulbos fluorescentes enroscables, en reemplazo de las incandescentes.

Un reemplazo para uno de 60 vatios ahorra 38 vatios, su período de repago será de aproximadamente un año. La alternativa final es el reemplazo total de las lámparas y luminarias incandescentes por fluorescentes o H.I.D. En fábricas con 3 turnos de trabajo el reemplazo de incandescentes por H.I.D. o fluorescentes tiene como período de repago entre uno y dos años.

En sistemas fluorescentes y de H.I.D. es más difícil conseguir sustanciales ahorros de energía, pero sin embargo si se puede hacer cambios por lámparas más eficientes. En la Tabla XI, se resume los porcentajes de ahorro que se consiguen haciendo los diferentes cambios.

LAMPARA ACTUAL \ NUEVA LAMPARA	MERCURIO	FLUORESCENTE	HALOGENOS METALICOS	SODIO DE ALTA PRESION	SODIO DE BAJA PRESION
Incandescente	63	71	79	82	87
Mercurio		23	44	51	66
Fluorescente			28	36	56
Halógeno Metálico				"	39
Sodio de alta presión					31

TABLA XI PORCENTAJE DE AHORRO AL HACER CAMBIOS DE LUMINARIAS.

3.3.4 CONTROLES EN EL SISTEMA DE ILUMINACION.

La habilidad de control es la clave para una provechosa administración de cualquier sistema. En muchas plantas el control de la iluminación no fue realizado durante la construcción. En muchos casos, un sólo interruptor o breaker controla un techo entero de luminarias, tornando esto de difícil regulación sobre los niveles de iluminación en función del uso del área bajo estas circunstancias, es necesario evaluar económicamente la posibilidad de proveer circuitos adicionales para sistema de control.

Actualmente, existen en el mercado muchos dispositivos para control de sistema de iluminación, pero los más sencillos para aplicaciones comerciales e industriales son los relojes y fotocélulas.

CAPÍTULO IV

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

4.1 CONCEPTOS BASICOS

La mayoría de los consumidores eléctricos no sólo piden potencia activa sino también potencia reactiva, que por ejemplo en el caso de los motores y transformadores se requiere para la potencia de magnetización y en el caso de los convertidores estáticos como potencia de mando y conmutación. El transporte de potencia reactiva es antieconómico para la E. E. puesto que no puede ser transformada en energía utilizable.

Para la generación y distribución de potencia eléctrica se requieren generadores, líneas de transmisión, cables, transformadores e instalaciones de conexión. Adicionalmente a la potencia activa se debe generar y distribuir potencia reactiva; esto es antieconómico, y cuanto menos potencia reactiva consume una planta, es decir, cuando mayor su factor de potencia, menor los costos de energía para la misma.

El mejoramiento del factor de potencia (F.P.) reduce costos de potencia, alivia la capacidad eléctrica de

los sistemas de distribución de potencia, eleva el nivel de voltaje, y reduce las pérdidas del sistema. Sin embargo, las dos razones principales para el mejoramiento del factor de potencia son :

- 1) Reducir el valor de la planilla eléctrica; y
- 2) Incrementar o aliviar la capacidad eléctrica del sistema de distribución de potencia dentro de la industria.

A pesar de que la primera es la más importante, desde el punto de vista del usuario, la segunda está llegando a ser muy importante a medida que los ingenieros reconocen el aspecto económico. Esto es especialmente, debido a que cuando se utilizan capacitores el costo de la capacidad eléctrica aliviada es algunas veces el costo de los capacitores.

Los dos métodos más comunes para el mejoramiento del factor de potencia son los capacitores en paralelo y los motores síncronos. Usualmente, los primeros son los más económicos mientras que los motores síncronos encuentran su aplicación cuando un nuevo y gran motor es aumentado.

El factor de potencia es el coseno del ángulo (θ) que

se forma entre la onda de voltaje y la de corriente. Este factor de potencia puede estar en : atraso (cargas inductivas), en fase (cargas resistivas) y en adelanto (cargas capacitivas). Por ejemplo la Figura 4.1, muestra el ángulo de desfase en una carga inductiva, donde el voltaje adelanta a la corriente.

Otra definición más usada para el factor de potencia es la siguiente : Es la razón de Kw o potencia de trabajo al total de KVA o potencia aparente. Así :

$$F.P. = \frac{Kw}{KVA} = \cos\theta \quad (4.1)$$

Otras fórmulas que son de gran utilidad y que fácilmente se deducen de la Fig. 4.2 son las siguientes :

$$KVA = \sqrt{(Kw)^2 + (KVAR)^2} \quad (4.2)$$

4.1.1 FACTOR DE POTENCIA DE UN GRUPO DE CARGAS

El factor de potencia de grupo de carga diferentes puede ser calculado, a partir de los fundamentos anteriormente explicados.

EJEMPLO 4.1 : La Fig. 4.3, muestra una subestación alimentando tres diferentes cargas. El factor de potencia es obtenido a partir del

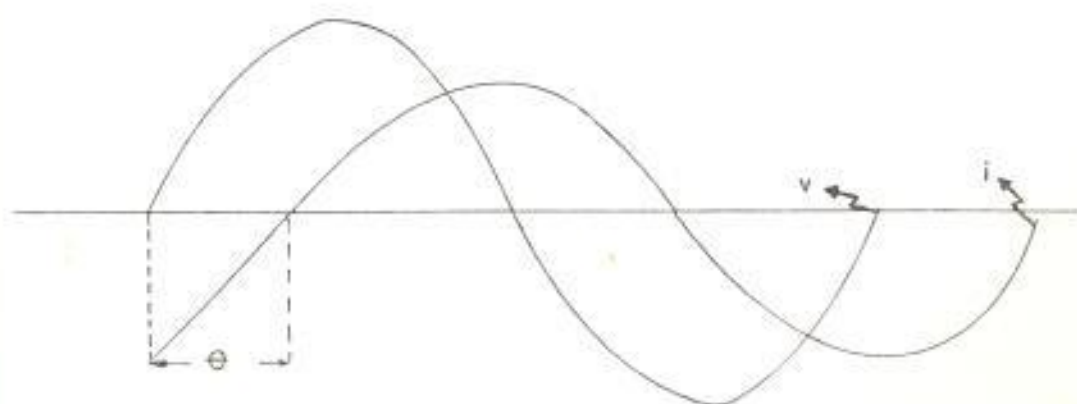


Fig. 4.1 CARGA INDUCTIVA

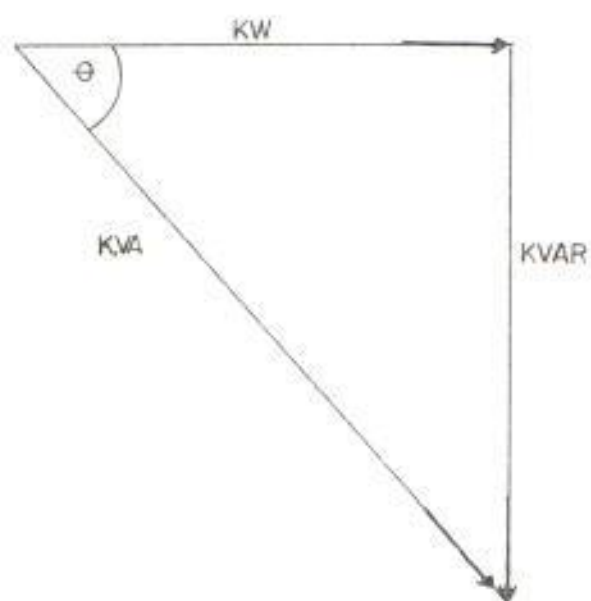


Fig. 4.2 TRIANGULO DE POTENCIAS

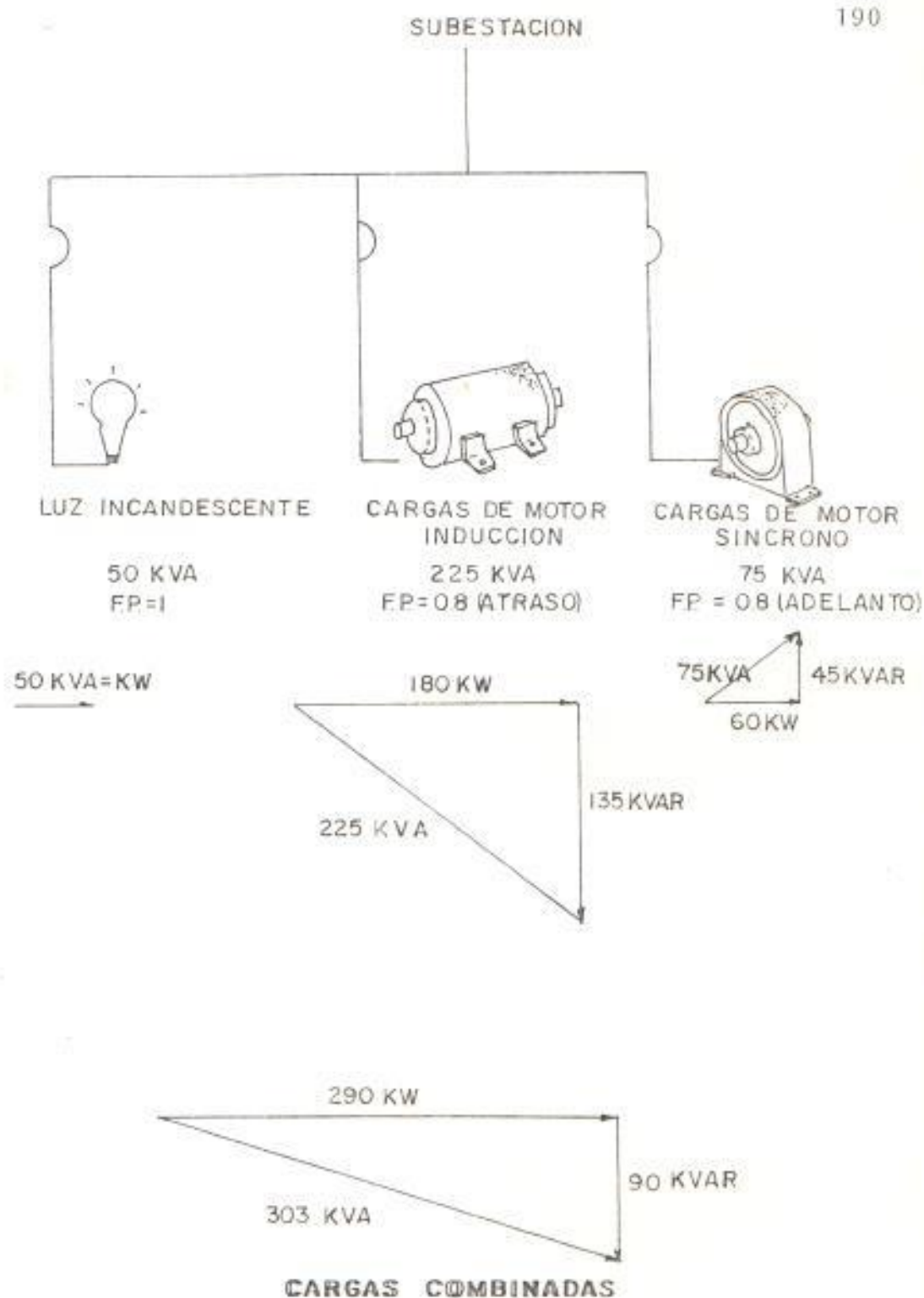


Fig. 4.3 CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA DE CARGA DEL EJEMPLO 4.1

total de KVAR y Kw de las diversas cargas, y desde éstos, los KVA totales de la subestación y luego el factor de potencia puede ser encontrado como sigue :

i. Encontrar los Kw y KVAR de cada carga.

a) Carga de iluminación incandescente 50 KVA :

ya que $FP=1$ implica que $Kw = KVA$

b) Carga de motores 300 H.P.: asumir carga en $KVA=0.75 \times$ (caballaje de motores conectado) con un factor de potencia de 0.8 en atraso.

$$KVA = 0.75 \times 300 = 225$$

$$Kw = 225 \text{ KVA} \times 0.8 = 180$$

$$KVAR = \sqrt{(225)^2 - (180)^2} = 135$$

c) 75 H.P. de motor síncrono con $F.P.=0.8$ en adelanto : a plena carga asumir $KVA =$ capacidad caballaje del motor.

$$KVA = 75$$

$$Kw = 75 \times (0.8) = 60$$

$$KVAR = \sqrt{(75)^2 - (60)^2} = 45$$

- ii. Encontrar los Kw y KVAR que la barra debe suministrar.

kilovatios:

iluminación	=	50
motor inducción	=	180
motor síncrono	=	<u>60</u>
TOTAL		290 Kw

kilovares :

iluminación	=	0
motor inducción	=	<u>135</u>
SUB-TOTAL		135 KVAR

(ya que el motor síncrono sobreexcitado tiene la propiedad de suministrar reactivo, la barra debe suministrar diferencia neta entre las necesidades de las otras cargas y la producción).

motor de inducción requiere	=	135
motor síncrono suministra	=	<u>45</u>
subestación debe alimentar	=	90 KVAR

- iii. Encontrar los KVA de la subestación y su F.P.

$$KVA = \sqrt{(290)^2 + (90)^2} = 303$$

$$F.P. = \frac{290}{303} = 0.956 \text{ en atraso}$$

4.1.2 FORMAS PARA CALCULAR FACTOR DE POTENCIA.

EJEMPLO 4.2 :

Supongamos un grupo de cargas con el siguiente diagrama de potencias (Fig. 4.4a), se desea mejorar su factor de potencia a 0.9, cual debe ser la capacidad de los capacitores a instalarse?

$$\cos\theta_1 = \frac{80 \text{ Kw}}{100 \text{ KVA}} = 0.8$$

con capacitores y 0.9 factor de potencia.

$$Kw = 80 \text{ (lo mismo)}$$

$$KVAR = \frac{80}{0.9} = 88.9$$

$$KVAR \text{ línea} = \sqrt{(88.9)^2 - (80)^2} = 38.7$$

Ya que la línea suministra 38.7 KVAR y la carga requiere 60 KVAR, los capacitores deben suministrar diferencia: $60 - 38.7 = 21.3 \text{ KVAR}$.

Partiendo de la Fig.4.2, se obtiene las siguientes expresiones matemáticas :

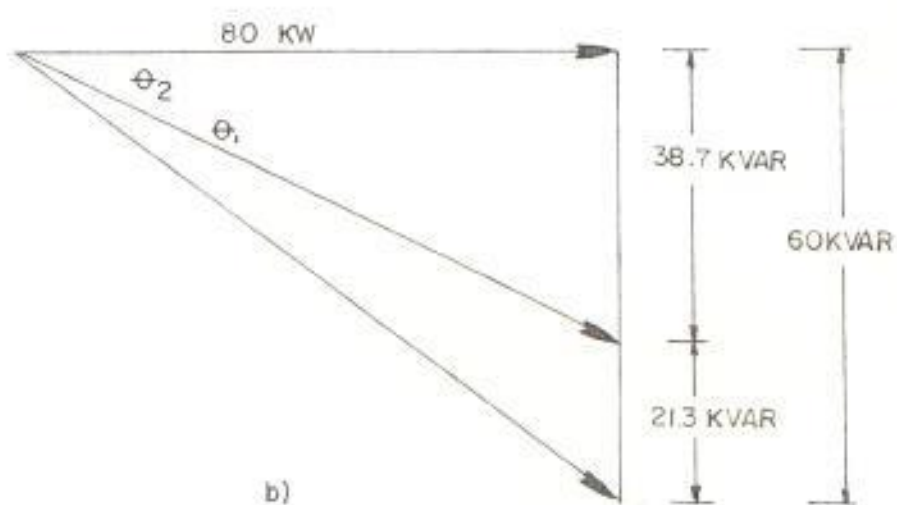
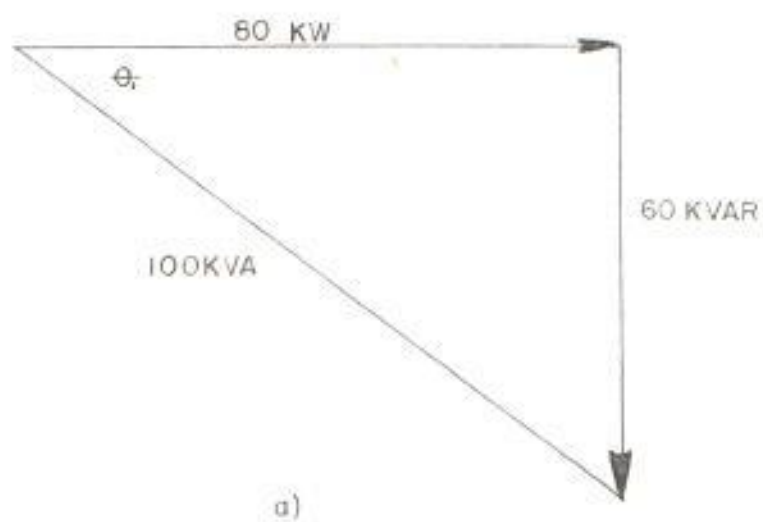


FIG. 4.4 DIAGRAMAS PARA EL EJEMPLO 4.2

$$\tan\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{Kw}} \quad (4.3)$$

$$\text{sen}\theta = \frac{\text{KVAR}}{\text{KVA}} \quad (4.4)$$

Puesto que, el componente de Kw permanece constante (los KVA y KVAR cambian con el F.P.) partiendo de la ecuación (4.3), tenemos :

$$\text{KVAR} = \text{Kw} \times \tan\theta \quad (4.5)$$

Por ejemplo, asumir que es necesario determinar la capacidad del capacitor a fin de mejorar el factor de potencia de la carga.

$$\text{KVAR con F.P. original} = \text{Kw} \times \tan\theta_1$$

$$\text{KVAR con F.P. mejorado} = \text{Kw} \times \tan\theta_2$$

Así pues, la capacidad de capacitor requerido para mejorar el F.P. es :

$$\text{KVAR}_{\text{cap}} = \text{Kw} \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (4.6)$$

por simplificación $(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$ se escribe $\Delta\tan\theta$, así que

$$\text{KVAR}_{\text{cap}} = \text{Kw} \times \Delta\tan\theta \quad (4.7)$$

Todas las tablas, cartas, y curvas las cuales tienen un "multiplicador Kw" para determinación de los KVARs a compensar son basados sobre la expresión 4.1.1.

La Tabla XII da valores del "multiplicador Kw" para un amplio rango de condiciones de operación. Las formas para mejorar el factor de potencia se lo consigue por capacitores y motores síncronos.

4.2 CAPACITORES

El concepto de un capacitor como generador de kilovares es de gran ayuda para la comprensión del mejoramiento del F.P. Un capacitor podría ser considerado como un generador de kilovares, ya que suministra los requerimientos de magnetización de los dispositivos de inducción.

Esta acción podría ser explicada en términos de energía almacenada. Cuando un capacitor y un dispositivo de inducción son instalados en el mismo circuito, allí habrá un intercambio de corriente de magnetización entre ellos; así la corriente en adelanto tomada por el capacitor será neutralizada por la corrien

F.P. ORIGINAL	D E S E A D O										F. P.	
	V A L O R	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98		0.99
0.61	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.151	1.209	
0.62	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266	
0.63	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233	
0.64	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201	
0.65	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169	
0.66	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138	
0.67	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108	
0.68	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078	
0.69	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049	
0.70	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020	
0.71	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	
0.72	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	
0.73	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936	
0.74	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909	
0.75	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	

TABLA XII MULTIPLICADOR Kw PARA CORRECCION DE F.P.

F. P.	V A L O R D E S E A D O D E F. P.										
	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
ORIGINAL											
0.76	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89	0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.229	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90	0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484

TABLA XII (continuación)

te en atraso tomada por el dispositivo de inducción.

4.2.1 LOCALIZACION DE CAPACITORES

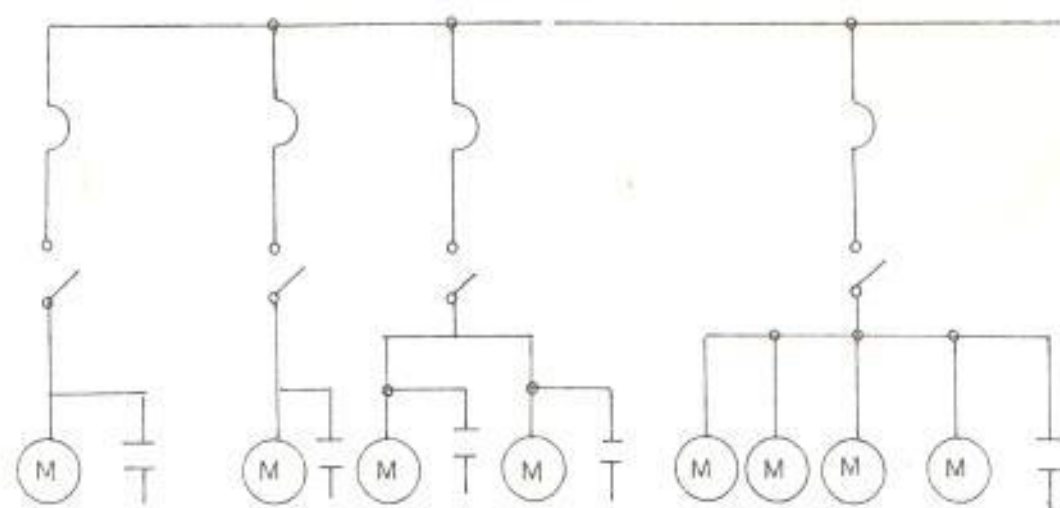
Si se instalan capacitores para corrección de F.P. en las cercanías de las cargas, la intensidad en el sistema de distribución se puede reducir, y rebajar así los costes de energía.

Los capacitores se pueden emplear para compensación individual, en grupo o centralizada. A continuación se describen los diversos modos de compensación y se dan unos criterios para seleccionar el más favorable.

i. COMPENSACION INDIVIDUAL

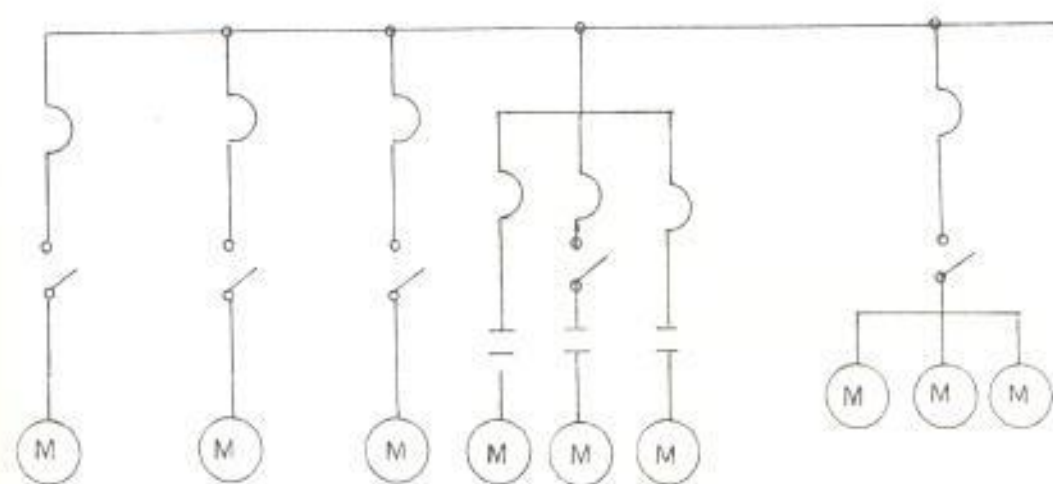
En el caso de compensación individual el condensador se aplica directamente a las bornas de la carga, conectándose con la misma por medio de un interruptor común (Fig. 4.5a). La potencia del condensador ha de ajustarse exactamente a la carga.

La compensación individual se utiliza nor-



a)

b)



c)

Fig. 4.5 DIVERSAS MANERAS DE COMPENSACION

a) individual b) en grupo c) centralizada

malmente para motores de inducción asíncronos y transformadores. Para compensar transformadores, es recomendable dimensionar los condensadores para el consumo de potencia reactiva del transformador a plena carga (ver Tabla XIII). Si la corrección del factor de potencia se realiza por medio de un capacitor de valor fijo conectado al transformador, se ha de asegurar que no estará sobrecompensado durante el servicio con cargas parciales.

Datos medidos para motores de inducción, la potencia del condensador no debe sobrepasar el 90% de la potencia reactiva, del motor en vacío, si no puede autoexcitarse al desconectar, causando elevadas sobretensiones en los bornes.

Las Tablas XIV y XV, muestran la capacidad del capacitor máximo que se debe colocar en los bornes de un motor (diseño B y C, NEMA, véase Apéndice D) de corregir F.P., además se da el porcentaje (%) de corriente que disminuye en la línea de alimentación al motor, este dato es importante en

POTENCIA NOMINAL DEL TRANSFORMADOR S_T (KVA)	POTENCIA REACTIVA Q EN VACIO (KVAR)	POTENCIA REACTIVA Q A PLENA CARGA (KVAR)	POTENCIA DEL CAPACITOR RECOMENDADA Q_C (KVAR)
100	2.1	3.4	4
160	2.9	5.6	6
250	4.2	14.3	15
400	6.8	23.1	25
630	9.5	56.6	40
1.000	13	58.5	60
1.600	22	93.8	100

TABLA XIII CAPACITORES RECOMENDADOS PARA TRANSFORMADORES.

VALOR NOMINAL EN H.P.	RPM/Nº DE POLOS											
	3600 2		1800 4		1200 6		900 8		700 10		600 12	
	Kvar	% I	Kvar	% I	Kvar	% I	Kvar	% I	Kvar	% I	Kvar	% I
3	1.5	14	1.5	15	1.5	20	2	27	2.5	35	3.5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4.5	37
7	2.5	11	2.5	12	3	15	4	22	5.5	30	6	34
10	3	10	3	11	3.5	14	5	21	6.5	27	7.5	31
15	4	9	4	10	5	13	6.5	18	8	23	9.5	27
20	5	9	5	10	6.5	12	7.5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7.5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32.5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32.5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32.5	10	40	13	47.5	16
150	32.5	8	30	8	35	9	37.5	10	47.5	12	52.5	15
200	40	8	37.5	8	42.5	9	47.5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52.5	8	57.5	9	70	11	77.5	13
300	57.5	8	52.5	7	60	8	65	9	80	11	87.5	12
350	65	8	60	7	67.5	8	75	9	87.5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67.5	6	80	8	92.5	9	100	9	110	11
500	77.5	8	72.5	6	82.5	8	97.5	9	107.5	9	115	10

TABLA XIV CAPACITOR MAXIMO SUGERIDO, CUANDO EL MOTOR Y CAPACITOR SON INTERRUPTIDOS COMO UNA SOLA UNIDAD PARA MOTORES DE DISEÑO "B", SEGUN NEMA.

VALOR NOMINAL EN H.P.	RPM/Nº DE POLOS											
	1800 4		1200 6		900 8		720 10		600 12			
	Kvar	$\frac{s}{I}$	Kvar	$\frac{s}{I}$	Kvar	$\frac{s}{I}$	Kvar	$\frac{s}{I}$	Kvar	$\frac{s}{I}$	Kvar	$\frac{s}{I}$
3	2	26	3	31	4	40	4.5	51	4.5	51
5	2	15	2.5	21	4	29	5	36	6.5	46	6.5	46
7 1/2	2.5	13	3.5	18	5	27	6.5	34	8	41	8	41
10	3.5	13	4	16	6	25	8	32	9.5	39	9.5	39
15	5	12	5.5	14	8	21	10	28	13	36	13	36
20	6	12	6.5	13	9.5	19	12	25	17	35	17	35
25	7.5	12	8	12	11	17	14	24	20	33	20	33
30	8.5	12	9	12	13	17	16	23	23	32	23	32
40	11	11	12	11	16	16	20	22	30	30	30	30
50	13	11	16	11	20	16	25	21	35	29	35	29
60	16	11	19	11	23	15	27.5	20	40	27	40	27
75	21	11	24	11	27.5	15	35	19	45	25	45	25
100	28	11	32.5	11	35	13	42.5	19	55	24	55	24
125	35	11	40	11	42.5	13	50	19	55	19	55	19
150	42.5	11	45	11	50	13	55	19	55	19	55	19
200	50	11	55	11	60	13	60	19	55	19	55	19

TABLA XV CAPACITOR MAXIMO SUGERIDO, CUANDO EL MOTOR Y CAPACITOR SON INTERRUPTIDOS COMO UNA SOLA UNIDAD PARA MOTORES DE DISEÑO C SEGUN NEMA.

cuanto se refiere a la regulación del dispositivo de protección térmica. En la práctica, la potencia del condensador es aproximadamente el 35% de la potencia nominal del motor.

El factor de potencia, sin embargo, estará por debajo de 0.9, bajo condiciones desfavorables, por ejemplo : arranques frecuentes, servicio en vacío, y servicio con carga parcial. Se ha de preveer una compensación adicional usando una batería centralizada con regulador de potencia reactiva.

ii. COMPENSACION EN GRUPO

En este caso, el equipo corrector compensa una cierta cantidad de motores o lámparas fluorescentes que se conectan en grupo por medio de un contactor o un interruptor (Fig. 4.5b). No se requiere interruptores individuales para conectar los capacitores.

iii. COMPENSACION CENTRALIZADA

Las unidades de regulación de potencia reactiva se emplean aquí conjuntamente con

instalaciones de conexión, distribución o subdistribuciones en las cuales estén instaladas (Fig. 4.5c).

Las unidades de regulación de potencia reactiva contienen además de grupos de capacitores conectables, un regulador que mide la potencia reactiva en el punto de entrada. Si la potencia reactiva difiere del valor prescrito el regulador provoca la conexión de grupos de capacitores, que se conectan o desconectan por medio de contactores. La potencia reactiva de los capacitores se elige de tal forma que el factor de potencia para el total de la planta, mantenga, en promedio, el $\cos\theta$ deseado.

iv. SELECCION DE LA FORMA DE COMPENSACION

Al seleccionar la forma de compensación se han de considerar factores técnicos y económicos y se ha de decidir si se deben compensar las cargas individuales por medio de capacitores fijos o por medio de una batería de regulación centralizada.

La estructura de precios de ambas formas

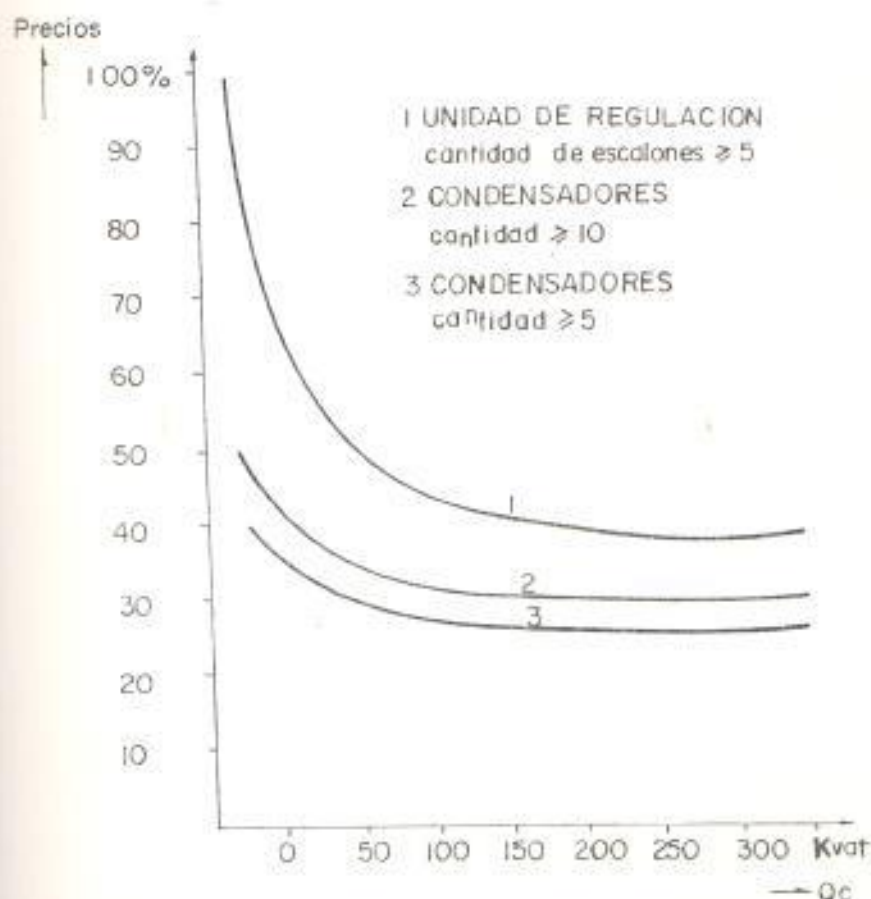


Fig. 4.6 ESTRUCTURA DE PRECIOS DE UNIDADES DE REGULACION DE POTENCIA REACTIVA Y ESCALONES DE CONDENSADORES (Referido a una unidad de regulación de 25 KVAR)

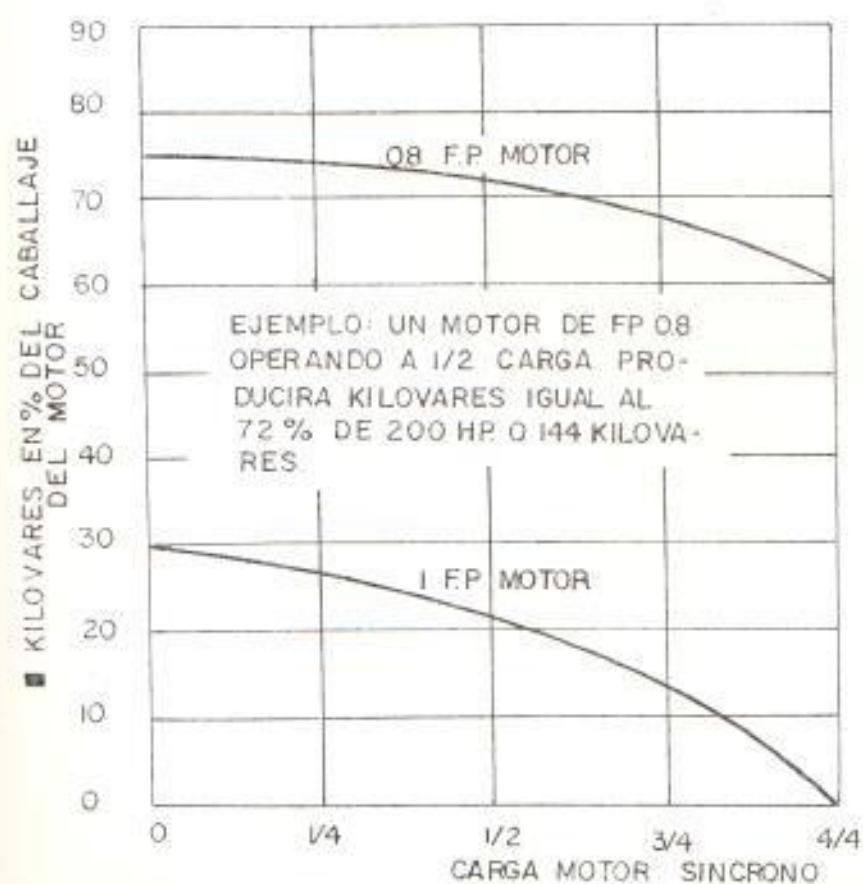


Fig. 4.7 SUMINISTRO DE KILOVARES POR MEDIO DE MOTOR SINCRONO.

de compensación se muestra en la Fig. 4.6, no habiéndose tenido en cuenta los costes de instalación. Entre 100 y 400 KVAR una compensación centralizada es 1,3 y 1,4 veces más cara que una compensación individual empleando capacitores de una potencia similar; sin embargo, si se tiene en cuenta que en la mayor parte de las instalaciones las cargas nunca están conectadas todas simultáneamente, se puede emplear una potencia en capacitores más reducida para una compensación centralizada para un factor de simultaneidad entre 0,7 y 0,8 ambos tipos de compensación son comparables en sus costos.

Consecuentemente, la compensación individual es solamente económica para :

- grandes consumidores con
- necesidades de potencia constante, y
- gran cantidad de horas de servicio.

La compensación individual también reduce la intensidad en los cables que alimentan las cargas, pero no es posible la adaptación de la potencia de los capacitores a

las necesidades de potencia reactiva.

La compensación centralizada es particularmente ventajosa si se tiene :

- gran cantidad de pequeñas cargas con
- potencia diversa, y
- diferente cantidad de horas de conexión.

La potencia de los capacitores ha de estar adaptada a las necesidades de potencia reactiva de la instalación. En consecuencia, la instalación y su posterior ampliación es relativamente simple. El centralizado facilita el mantenimiento de la instalación de corrección del factor de potencia.

4.3 MOTORES Y CONDENSADORES SINCRONOS

Aunque la forma más usual para corregir el factor de potencia de una planta es por medio de capacitores tanto por razones técnicas como económicas, se hace necesario conocer los fundamentos y aplicaciones típicas del motor síncrono ya que hay ocasiones en que esta alternativa si resulta rentable.

4.3.1 FUNDAMENTOS

El motor síncrono es un motor con rotor devanado, siendo éste alimentado con corriente continua; por lo tanto éste tipo de motor tiene una velocidad constante (velocidad síncrona). En el rotor se coloca resistencias para el arranque, además también se tiene la fuente de corriente continua con un reóstato que sirve para regular la corriente de excitación, ésta se aplica después que el motor alcanza velocidad casi síncrona.

La corriente de la armadura (de línea) es adelantada cuando el motor está sobrecargado y atrasada cuando el motor está con baja excitación.

Con un incremento en la corriente de campo el par motor máximo se incrementa, además también se puede hacer, a carga fija, que el factor de potencia del motor varíe en una amplia zona cambiando la corriente de campo. A un cierto valor de la corriente de campo el factor de potencia es unitario; disminuyendo la corriente del campo abajo de este valor se ha

ce atrasado el factor de potencia, mientras que un incremento lo hace adelantado, ya que la corriente del campo influye en la capacidad de sobrecarga, se establecen ciertos límites para el factor de potencia. La corriente de campo del motor síncrono se ajusta usualmente de tal manera que el motor funciona a la carga nominal, ya sea con $\cos\theta = 1$ o bien con factor de potencia adelantado si se sobreexcita un motor síncrono, éste está forzado a tomar una corriente adelantada de la línea. Entonces el motor síncrono lleva a cabo la función de un "condensador estático", esto es, compensa las corrientes reactivas necesarias para mantener los flujos en motores de inducción y transformadores y reduce de este modo la cantidad de corriente atrasada que va a ser proporcionada por la generación.

A los motores síncronos sobreexcitados que funcionan en vacío se les conoce por "condensadores síncronos" y se utilizan para compensar las corrientes reactivas atrasadas en las líneas de transmisión largas.

Como se ha visto los kilovares de salida de

un motor síncrono son función de excitación y carga del motor. Las curvas de la Fig. 4.7, muestran los kilovares que un motor síncrono es capaz de producir bajo varias condiciones de carga con excitación normal.

Los dos factores de potencia más comunes de motores síncronos son el unitario y el 0.8 en adelanto. Estos valores se refieren a la operación con factor de potencia a plena carga y con excitación normal.

Los condensadores síncronos son antieconómicos para plantas industriales; así que no se hará referencia posterior sobre ellos.

4.3.2 APLICACIONES : MOTORES DE INDUCCION MAS CAPACITORES VERSUS MOTORES SINCRONOS.

En esta sección se tratará sobre la aplicación de los motores síncronos como generadores de kilovares y de energía mecánica, además se hace la comparación con la alternativa de motor de inducción más capacitor.

Los motores síncronos están diseñados ordina-

riamente a factor de potencia 0.8 adelantado o unitario a plena carga. El motor de factor de potencia 0.8 es mayor en tamaño que el motor de factor de potencia unitario.

Las curvas características de estos dos tipos de motores se muestran en la Fig. 4.8. Se va a notar el aumento en el factor de potencia con el aumento de la carga, y también la disminución en KVAR adelantados con el aumento de la carga, siendo la disminución mucho menor para el motor de factor de potencia 0.8.

El costo inicial es un factor, y a menudo el factor decididor, en la selección entre un motor síncrono y un motor de inducción con capacitores. En algunos casos, el tipo de accionamiento o características inherentes de los motores dictan la selección.

Los motores síncronos tienen la ventaja que son capaces de suministrar ligeramente variando valores de kilovares, y el número puede ser realmente cambiado por el ajuste del reóstato de campo del motor. Los kilovares netos de salida se incrementan a medida que la car-

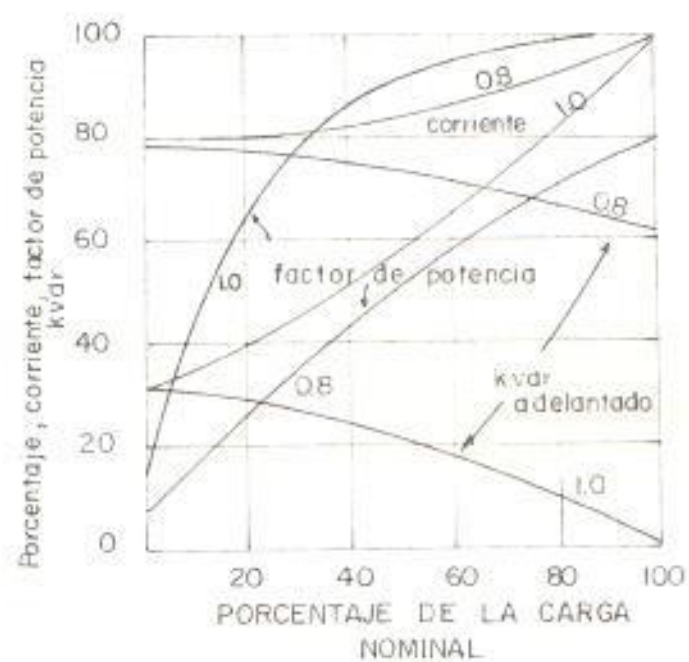


Fig. 4.8 CARACTERISTICAS DEL MOTOR SINCRONO UNITARIO Y CON F.P. = 0.8

ga decrece.

Desde el punto de vista de pérdidas, las dos alternativas son casi iguales. Motores síncronos son generalmente más eficientes que los motores de inducción, pero cuando son incluidas las pérdidas del excitador, las pérdidas totales son casi iguales.

El motor síncrono tiene la desventaja que tiene que estar en operación a fin de producir kilovares; en la combinación motor-inducción más capacitor no tiene que ser conectado e interrumpido con el motor pero puede ser conectado permanentemente a la fuente de potencia. Esto puede ser importante desde el punto de vista de pérdidas.

El mantenimiento de motor síncrono con su excitador y su complejo sistema de control es más complicado que la segunda alternativa.

i. COMPARACION DE PRECIOS DEL MOTOR DE INDUCCION CON CAPACITORES VERSUS MOTORES SINCRONOS.

El costo inicial es quizás la guía más im-

portante en la selección de la alternativa más conveniente, seguramente ésta es la facilidad para evaluar.

Las Tablas XVI y XVII, muestran las capacidades de los motores en donde el costo de un motor de inducción más capacitor (incluyendo un interruptor separado para los capacitores) y el arrancador es menos que un motor síncrono "unitario" y "0.8", excitador y arrancador.

Para voltajes de 2.300 y 4.000 voltios, el equipo de motor síncrono es menos costoso que la alternativa del motor de inducción en cualquier caballaje y velocidad, si un breaker de potencia es utilizado para interrumpir los capacitores.

Sin embargo, si los capacitores pueden ser colocados sobre el sistema de 440 v, y que es donde ellos darán el beneficio máximo, entonces el arreglo motor de inducción viene a ser atractivo. En cuyo caso los caballajes de los motores son aproximadamente los mismos como los listados en las Tablas

VELOCIDAD (R.P.M.)	CABALLAJE DEL MOTOR (H.P.)
1.800	250 y menos
1.200	150 y menos
900	150 y menos
600	200 y menos

TABLA XVI CABALLAJE DONDE EL MOTOR DE INDUCCION MAS CAPACITORES ES MENOS COSTOSO QUE UN MOTOR SINCRONO 0.8

EQUIPO -440V- 60 Hz

ARRANCADOR DIRECTO

VELOCIDAD (R. P. M.)	C A B A L L A J E (H. P.)	
	ARRANCADOR DIRECTO	ARRANCADOR CON VOLTAJE REDUCIDO
1.800	750 y menos	400 y menos
1.200	350 y menos	350 y menos
900	300 y menos	300 y menos
600	300 y menos	300 y menos

TABLA XVII CABALLAJE DONDE EL MOTOR DE INDUCCION MAS CAPACITORES ES MENOS COSTOSO QUE UN MOTOR SINCRONO UNITARIO.

EQUIPO -440 V- 60 Hz

XVI y XVII. Existen muchos casos donde el método motor de inducción más capacitor es económico para muchos caballajes más altos que los de las Tablas XVI y XVII. Frecuentemente, es necesario solamente mejorar al 95% el factor de potencia del motor. En tales casos, los kilovares de capacitor requeridos son considerablemente menores que aquellos requeridos a igualar la salida de kilovares a plena carga de un motor síncrono.

4.4 VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS AL MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA.

La ventaja económica al mejorar el factor de potencia es la disminución sustancial en el valor de la planilla eléctrica; las ventajas técnicas al mejorar el F.P. son las siguientes :

- 1) Alivio de la capacidad del sistema,
- 2) Reducción de las pérdidas del sistema, y
- 3) Mejoramiento en las condiciones del voltaje.

4.4.1 AHORROS EN LA PLANILLA DE CONSUMO ELECTRICO

El principal uso de capacitores en las plantas industriales y además un factor decisivo en la selección de motores síncronos es reducir el costo de la potencia contratada cuando el pago de la planilla eléctrica contiene la cláusula del factor de potencia, como es el caso nuestro (véase Apéndice A : cláusula del factor de potencia).

Es común para capacitores pagarse a sí mismos en períodos desde 1/2 a 3 años. Esto representa un retorno bruto anual del 20 al $33\frac{1}{3}\%$. La tasa media de retorno estimada es de 65% aproximadamente, aunque este valor puede variar bastante de acuerdo a varios factores que se deben considerar como : tamaño de la planta, horas/año de trabajo, tipo de corrección, costo de capacitores, factor de potencia actual, etc.

Prácticamente todo tamaño de planta, teniendo la cláusula del factor de potencia, justifica capacitores.

4.4.2 ALIVIO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE POTENCIA

¿Qué significa la expresión "Alivio de la capacidad del sistema"?

Cuando capacitores o motores síncronos están en operación en una planta, ellos producen kilovares, suministrando corriente de magnetización para motores, transformadores, etc., por lo tanto, reducen la corriente desde la fuente de potencia. Menos corriente significa menos KVA o carga sobre los transformadores y circuitos alimentadores. Esto significa que los capacitores y motores síncronos puede ser utilizados para reducir sobrecarga en las plantas donde existe o si el equipo no está sobrecargado, permitir que la carga adicional sea aumentada.

El alivio de la capacidad del sistema por mejoría en el factor de potencia -y especialmente con capacitores- está llegando a ser más importante a medida que los ingenieros de planta aprecian su ventaja económica.

i. APARATOS SOBRECARGADOS TERMICAMENTE :

Muchos casos se aplican donde un circuito, transformador, o generador está sobrecargado (KVA o amp) debido al bajo factor de potencia.

El procedimiento para determinar el valor de los kilovares requeridos para reducir la carga a un valor especificado puede ser mejor explicado por un ejemplo.

EJEMPLO 4.3 : Un circuito a 460 V tiene 235 amp de capacidad nominal, pero está llevando 300 amp a 0.7 de factor de potencia. ¿Cuántos kilovares de capacitores son requeridos para reducir la corriente a 235 amp?

$$KVA = \frac{\sqrt{3} (460) (300)}{1,000} = 240$$

$$KW = 240 \times 0.7 = 168$$

Los KVA correspondientes a 235 amp es 188; el F.P. de la nueva carga será :

$$\cos\theta_2 = \frac{168}{188} = 0.895 \quad \text{ó} \quad 0.9$$

Los capacitores requeridos son :

$$CKVAR = 168 \times 0.536$$

$$CKVAR = 90$$

ii. APARATOS CON KILOVATIOS LIMITADOS

Algunos aparatos tales como una turbina-generator y motor-generator tienen un límite de kilovatios del primo-accionador. Así como también límite de KVA en el generador. Usualmente el límite de Kw corresponde al valor nominal de KVA, y el conjunto es comprado por el valor en Kw y un F.P. unitario. Valores intermedios de Kw entre F.P. 0.8 y 1, son determinados por el factor de potencia y la capacidad nominal en KVA del generador, así ni los Kw o KVA de carga exceden a la capacidad nominal del KVA del generador. El mejoramiento del F.P. puede aliviar ambas capacidades Kw y KVA.

EJEMPLO 4.4 : Un motor-generator de 1,000 Kw (generator con capacidad de 1250 Kw) está ya operando a plena carga, 1250 KVA con F.P.=0.8. Una carga adicional de 170 Kw a F.P.=0.85 va a ser adherida. ¿Qué valor de capacitores es requerido a fin de no so

222
BIBLIOTECA

brechegar ni el motor ni el generador?

Carga original :

$$\begin{aligned}Kw &= 1.000 \\KVAR &= 1.000 \times 0.75 = 750 \\KVA &= 1.250\end{aligned}$$

Carga adicional :

$$\begin{aligned}Kw &= 170 \\KVAR &= 170 \times 0.620 = 105 \\KVA &= \frac{170}{0.85} = 200\end{aligned}$$

Carga total:

$$\begin{aligned}Kw &= 1.000 + 170 = 1.170 \\KVAR &= 750 + 105 = 855\end{aligned}$$

El factor de potencia mínimo de operación para no exceder de 1.170 Kw y de los KVA nominales es :

$$\cos\theta = \frac{1.170}{1.250} = 0.935$$

Los KVAR de carga máxima para ésta condición es :

$$KVAR = 1.170 \times 0.379 = 444$$

Así que los capacitores deben suplir la diferencia entre el total de KVAR y los KVAR

permisibles del generador, o

$$CKVAR = 855 - 444 = 411$$

iii. ASPECTOS ECONOMICOS DE LOS CAPACITORES EN EL ALIVIO DEL SISTEMA :

Sistemas de capacidad para una corriente de carga puede ser incrementada por el mejoramiento del factor de potencia. Como anexo al alivio de capacidad los capacitores, mejoran F.P., reducen pérdidas y elevan el voltaje.

Si todos los beneficios técnicos no son deciditorios en lo que refiere a colocar capacitores, con una relación de costos entre construir una nueva subestación y sus circuitos de distribución a colocar capacitores se demostrará que, el KVA aumentado en capacidad por los capacitores es más barato que aumentar la capacidad de generación y/o transformación.

4.4.3 REDUCCION DE PERDIDAS EN EL SISTEMA DE POTENCIA.

De la reducción en pérdidas eléctricas debido al mejoramiento del factor de potencia resul-

ta un retorno bruto anual de un cierto porcentaje de la inversión inicial en un capacitor. Aunque el retorno desde la reducción de pérdidas es sólo rara vez suficiente para justificar la instalación de capacitores, ésto es un beneficio atractivo adicional.

En la mayoría de los sistemas de distribución de una planta, los kilovatios de pérdida (I^2R) varían desde 2.5 a 7.5% de los Kw-h, dependiendo sobre todo de : horas de carga completa y no-completa de la planta, calibre de los cables, y largo de los circuitos principales y sus derivaciones.

Las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente, y como se sabe la corriente es reducida en proporción directa al mejoramiento del factor de potencia, las pérdidas son inversamente proporcionales al cuadrado del factor de potencia.

$$\text{Kw de pérdidas} \propto \left(\frac{\text{F.P. original}}{\text{F.P. mejorado}} \right)^2 \quad (4.8)$$

$$\text{Reducción de pérdidas} = 1 - \left(\frac{\text{F.P. original}}{\text{F.P. mejorado}} \right)^2 \quad (4.9)$$

Los capacitores tienen pérdidas, pero son relativamente pequeñas.

EJEMPLO 4.5 : Determinar el ahorro en pérdidas debido al mejoramiento del F.P. para las siguientes condiciones :

Total de Kw-h por año = 150.000

Factor de potencia original = 0.75

Factor de potencia mejorado = 0.95

Asumir pérdidas en un 5% del total de los Kw-h, o sea 7.500.

$$\begin{aligned} \text{Reducción de pérdidas} &= 1 - \left(\frac{0.75}{0.95} \right)^2 \\ &= 0.377 \quad \text{ó} \quad 37.7\% \end{aligned}$$

Reducción en pérdidas = 0.377 x 7.500 = 2.828 Kw-h

4.4.4 MEJORAMIENTO DEL VOLTAJE

El mejoramiento del voltaje es un beneficio adicional que se consigue al colocar capacitores.

La siguiente expresión simplificada es usualmente utilizada para calcular la caída de voltaje de un circuito :

$$e = RI \cos\theta \pm XI \sin\theta \quad (4.10)$$

Donde el (+) es usado para un F.P. en atraso y el (-) para un F.P. en adelanto.

Cuando la corriente total y el F.P. son conocidos, las componentes de las corrientes pueden ser obtenidas así :

$$\text{Corriente de Kw} = I_{\text{total}} \cos\theta \quad (4.11)$$

$$\text{Corriente de KVAR} = I_{\text{total}} \sin\theta \quad (4.12)$$

Entonces la ecuación (4.14) puede ser reescrita así :

$$e = R \times (\text{corriente de Kw}) \pm X (\text{corriente de KVAR}) \quad (4.13)$$

Es necesario solamente conocer la capacidad del capacitor y la reactancia del sistema para predecir el cambio de voltaje debido a capacitores.

La elevación de voltaje debido a los capacitores en plantas industriales con buen sistema de distribución y transformación no será muy grande; en el mayor de los casos llega a valores de un 4 a 5%.

i. CALCULO DE ELEVACION DE VOLTAJE DEBIDO A CAPACITORES.

El método del porcentaje es quizás el más práctico y simple para calcular la elevación de voltaje.

Las siguientes expresiones son precisas, para fines prácticos :

$$V_C = I_C X \quad (4.14)$$

$$\% V_C = \frac{CKVAR \times (\% X)}{KVA \text{ base}} \quad (4.15)$$

$$\% V_C = \frac{CKVAR \times \% \text{ reactancia del transformador}}{\text{Valor nominal de los KVA del transformador}} \quad (4.16)$$

Otras fórmulas de uso :

$$\% \text{ Ohm} = \frac{X \text{ (KVA base)}}{10 \text{ (Kv)}^2} \quad (4.17)$$

$$\% X_D = \frac{KVA \text{ base} \times (\% X_1)}{KVA_1} \quad (4.18)$$

$$\% X_S = \frac{KVA \text{ base} \times 100}{KVA \text{ de cortocircuito del sistema}} \quad (4.19)$$

donde :

CKVAR = valor nominal del capacitor, KVAR

I_C = Corriente del capacitor, amp

KV = Voltaje línea-línea, KV

KVA = KVA seleccionado como base para cálculos

KVA₁ = Valor nominal del equipo, tal como un transformador, sobre su base propia.

V_C = Cambio de voltaje, Volt (línea a neutro)

% V_C = % de cambio debido a capacitores

X = Reactancia en Ohms

% X_b = Reactancia en % del equipo

% X_S = Reactancia en % del sistema

% X₁ = Reactancia en % del equipo, como un transformador sobre sus propios KVA nominales.

El siguiente ejemplo ilustra el uso de las fórmulas.

EJEMPLO 4.6 : Un banco de 360 KVAR de capacitores es conectado al secundario de un transformador de 1.000 KVA, que tiene una impedancia de 5.5%. La potencia de cortocircuito es de 100.000 KVA. ¿Cuál es la elevación de voltaje debido a los capacitores?

$$\% V_C = \frac{360 \times 5.5}{1.000} = 1.98$$

CAPITULO V

GENERACION Y USO EFICIENTE DEL VAPOR

5.1 GENERACION EFICIENTE DEL VAPOR

La eficiencia térmica de los calderos dependen de su ciclo de operación, mantenimiento, control de combustión y condiciones técnicas, a más de su diseño, equipos de recuperación de calor que incorporan y el combustible empleado.

5.1.1 FACTOR DE CARGA DE LOS CALDEROS

Cuando un caldero funciona con carga parcial sus pérdidas de eficiencia aumentan, especialmente si el control de combustión no mantiene el exceso de oxígeno constante (ver Fig. 5.1).

Los calderos deben ser operados en el rango de mayor eficiencia posible. Evidentemente, los calderos con control de combustión simple tienen máxima eficiencia sólo a carga nominal.

Cuando existen varios calderos, es más eficiente usar un menor número de ellos a carga nominal que todos a carga parcial.

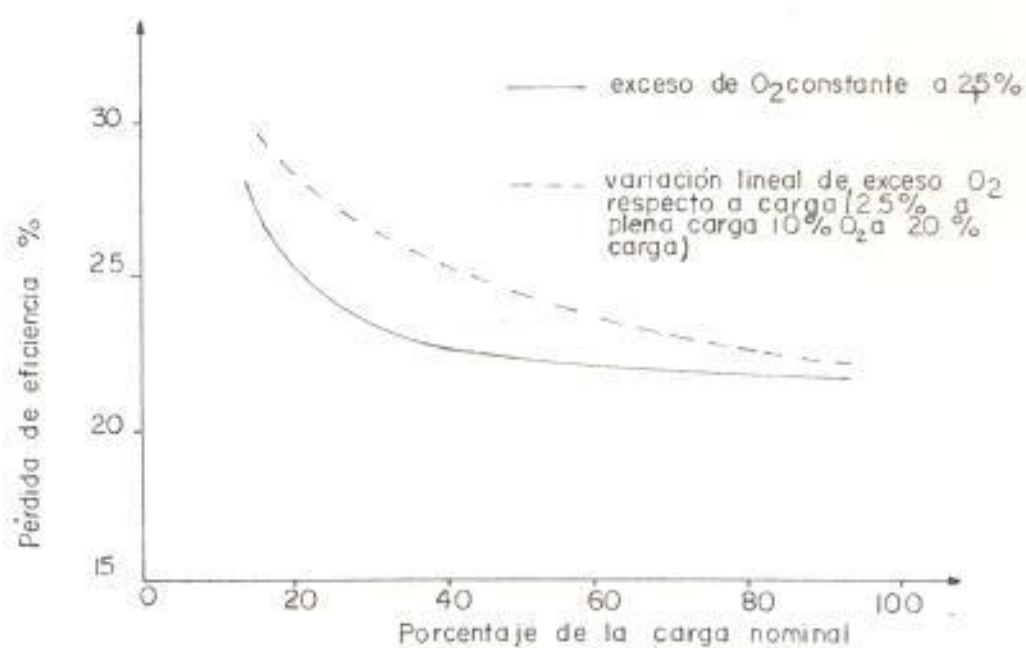


Fig.5.1 INFLUENCIA DEL FACTOR DE CARGA EN LA EFICIENCIA TERMICA DE LOS CALDEROS.

5.1.2 MANTENIMIENTO

Los calderos con un mantenimiento preventivo adecuado minimizan las pérdidas. Las bajas de eficiencia pueden relacionarse directamente a problemas en los mecanismos que regulan la alimentación de aire y combustible, descalibración o mal funcionamiento de los analizadores de combustión, instrumentación mal ajustada o fuera de operación, depósitos en los intercambiadores de calor, etc.

5.1.3 LIMPIEZA DE LAS SUPERFICIES DE TRANSFERENCIA

Para mantener una alta transferencia de calor desde la llama y los gases calientes hacia el fluido receptor (vapor, agua, aire de combustión), es necesario limpiar con la debida frecuencia las superficies de transferencia.

5.1.4 AISLAMIENTO TERMICO DE LOS CALDEROS

El revestimiento exterior aislante del caldero puede causar pérdidas significativas si está deteriorado. En ocasiones la inspección visual no muestra fallas en el aislamiento.

5.2 USO RACIONAL DEL VAPOR

5.2.1 FUGAS DE VAPOR

El primer paso es eliminar las fugas de vapor a través de válvulas y conexiones defectuosas en las líneas. Las pérdidas de combustible que ocasionan estas fugas son insospechadamente altas. Por ejemplo una fuga por una abertura de 5 mm^2 en una línea a 7 Kg/cm^2 (presión barométrica) desperdicia no menos de 0.35 galones de diesel por hora, es decir, más de 1.400 galones al año (4.000 horas); más aún, estas fugas pueden ser detectadas y eliminadas fácilmente.

Sin embargo, los mayores escapes de vapor ocurren en trampas de vapor defectuosas mal instaladas o inapropiadas. Su función es purgar el condensado, aire y otros gases no condensables, sin dejar fugar el vapor.

La experiencia demuestra que la revisión y mantenimiento de las trampas debe realizarse mensualmente. Los escapes de vapor por las trampas no son fácilmente detectables.

5.2.2 AISLAMIENTO TERMICO

Otra fuente de pérdidas es la falta de aislamiento térmico en tuberías y otras superficies exteriores en contacto con vapor. Como regla general, cada metro cuadrado no aislado, en un sistema a 7 Kg/cm², causa una pérdida de al menos 0.1 galones de diesel por hora.

5.2.3 VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DEL CALOR

La velocidad de transferencia del calor, en instalaciones de vapor, está seriamente afectada por incrustaciones y películas de aire y condensado en las superficies de calentamiento.

La limpieza regular de éstas superficies, en ambos lados de ser posible, puede aumentar notoriamente la eficiencia de los equipos. Cuando el tratamiento de agua es deficiente, en el lado del vapor se forma un depósito de sólidos provenientes de las tuberías, del caldero o del agua arrastrada por vapor (cuando el caldero funciona a máxima capacidad).

La presencia de aire en el vapor reduce la velocidad de transferencia de calor, mediante dos efectos. Primero, disminuye la temperatura de condensación del vapor. Además, luego de la condensación se forma una película de agua sobre la superficie de transferencia, cuyo efecto aislante aumenta drásticamente al contener aire.

Se debe tener en cuenta que la resistencia térmica del agua es de 60 a 70 veces mayor que la del acero, mientras que la del aire es 1.500 veces superior.

5.2.4 TRAMPAS DE VAPOR

Las trampas de vapor deben purgar eficientemente el condensado para evitar su acumulación dentro de los equipos, con la consecuente disminución del área de transferencia de calor.

Dos problemas básicos ocurren en las trampas: escape de vapor, el cual ya se ha tratado, y retención de condensado. Este último ocurre por una selección errónea de la trampa (tipo,

capacidad), su localización incorrecta o falla mecánica.

Las trampas deben dimensionarse para los altos caudales de condensado y la menor presión, existentes durante el arranque en frío de los equipos.

Para seleccionar la trampa adecuada, hay que considerar las características de los diferentes tipos, frente a las condiciones operacionales propias de cada aplicación.

La localización incorrecta de la trampa provoca un apresamiento de vapor entre ésta y el condensado. La trampa obviamente purgará el líquido, mientras el vapor preso no se condense, y el equipo de calentamiento se inundará.

Un problema de consecuencias más serias es la formación de aire preso, ya que éste no se condensará y la trampa no drenará líquido, a menos que sea de tipo termostático. Por esto la solución es instalar un purgador automático de aire en paralelo con la trampa.

5.3 AISLAMIENTO TERMICO

El aislamiento térmico de las superficies a mayor temperatura que la ambiental reduce las pérdidas de calor y por tanto el consumo de combustible. Adicionalmente mejora la potencia calórica de los equipos.

5.3.1 ESPESOR ECONOMICO DEL AISLAMIENTO

La decisión sobre el espesor del aislamiento al aplicar en superficies descubiertas, o sobre el aumento de grosor en él existente, se fundamenta en cálculos económicos.

Varios métodos han sido desarrollados para determinar el espesor económico. Aquí se explicará brevemente el método del costo total mínimo.

Según este método (ver Fig. 5.2), el espesor económico es el que presenta un costo total mínimo (instalación + calor perdido). Este punto debe encontrarse en aproximaciones sucesivas.

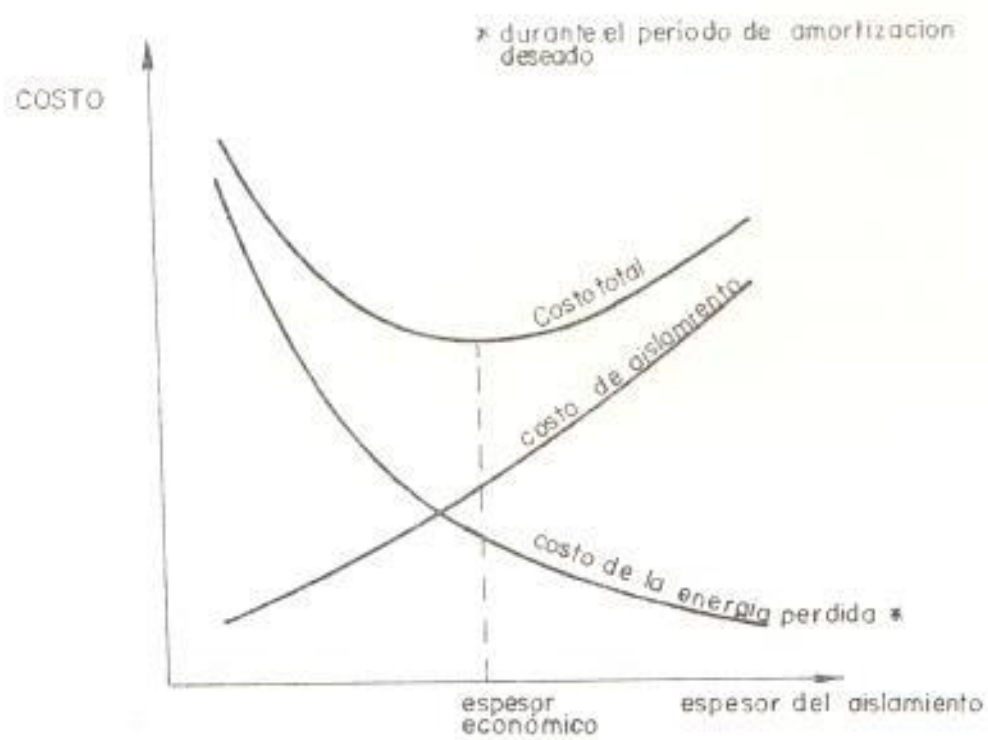


Fig. 5.2 VARIACION DE COSTOS RESPECTO AL ESPESOR DEL AISLAMIENTO.

5.3.2 PASOS DE CALCULO

- 1) A partir del precio del combustible y su valor calórico, se calcula el costo unitario teórico del calor, C_{qt} (sucres/ 10^6 Kcal).
- 2) Al dividir C_{qt} por la eficiencia real del horno o caldero, se obtiene el costo unitario real del calor, C_q .
- 3) Se calcula el tiempo de operación de la instalación o equipo (t) durante el período de amortización deseado.
- 4) El factor de costo F es el producto de $C_q \times t$.
- 5) Se toma un grupo sucesivo de espesores para el aislamiento. Es necesario determinar para cada espesor la pérdida de calor Q por unidad de tiempo, y superficie (o longitud en caso de tuberías). Estos datos pueden consultarse al fabricante o en literatura especializada.
- 6) El costo del calor perdido CQ resulta de multiplicar F y Q . CQ queda expresado en sucres/ m^2 (o sucres/m).

- 7) El costo total CT es la suma de CQ y el costo del aislamiento.
- 8) El conjunto de valores calculados para CT debe mostrar claramente un mínimo; caso contrario se debe calcular un nuevo conjunto asumiendo otro grupo de espesores (paso 5 a 8).
- 9) El espesor correspondiente a CT más bajo es entonces el espesor económico buscado.

CAPITULO VI

APLICACION PRACTICA

6.1 EVALUACION GENERAL DE LAS CONDICIONES DE LA INDUSTRIA

Esta planta produce oxígeno gaseoso (GOX), tiene una capacidad de 100 m³/hora, está ubicada en el Km 10 / vía a Daule. Pertenece a la compañía AGA del Ecuador C.A.

Esta planta, que dentro de las plantas del grupo AGA se la conoce con el nombre de : LINDE, fue adquirida por ésta empresa en Marzo de 1986, anteriormente ya había funcionado algunos años pero para otra compañía.

6.1.1 PROCESO DE PRODUCCION

A fin de entender mejor el proceso de producción se debe seguir la Fig. 6.1.

- a) El aire es succionado por los compresores (RC₁ y RC₂) a través de los filtros (AF) y se comprime a una presión aproximada de 28 bares.

- b) El aire comprimido es enfriado sucesivamente a la salida de cada etapa de compresión (3 etapas) en los interenfriadores y posenfriadores.
- c) Después de haber pasado por los posenfriadores el aire entra a la unidad de refrigeración de freón (FC) y enfriado a (+15°C), luego pasa a un separador de agua (ws), en donde se separa gran porción de agua del aire.
- d) Una última porción de la humedad del aire fluye a través de uno de los absorbedores moleculares (6 tamices) (A_1 , A_2) en el cual la humedad residual, CO_2 , hidrocarburos y otras impurezas son absorbidas.
- e) De los absorbedores moleculares el aire fluye al interior del "cold-box", en el cual el aire es enfriado en los intercambiadores de calor (E_1 y E_2). Luego el aire es descargado en la válvula de expansión (100) al condensador (K), en (K) la totalidad de aire es licuada.

El aire licuado acumulado en (K) es sub-enfriado en el enfriador (E_3) y pasado mediante la válvula de expansión (120) a la parte superior de la columna de rectificación (C).

- g) El principio de separación del aire es basado en el hecho que debido a sus diferentes puntos de licuefacción. El O_2 y N_2 se pueden separar en la columna de separación (C).

NOTA: Punto de licuefacción del $O_2 = -183^\circ C$

Punto de licuefacción del $N_2 = -196^\circ C$

Por lo tanto el O_2 es licuado más rápido que el N_2 .

Esta columna consiste en un conjunto de bandejas con celdillas en donde el aire licuado comienza a gotear y en sentido contrario se alzan vapores nacientes (N_2).

Durante éste proceso una fuerte transferencia de calor y masa toma lugar de celdilla en celdilla. El líquido se enriquece en O_2 , logrando las más altas concentraciones en el condensador. Los valores nacientes

se dirigen hacia arriba y el contenido de nitrógeno deja la parte superior de la columna como nitrógeno impuro.

- h) El O_2 líquido fluye desde el condensador y tiene dos caminos, dejar el cold-box como O_2 líquido y llenar termos o almacenar, en este caso la planta trabaja como productora de oxígeno líquido (LOX).

El otro camino es que el LOX pase a través del subenfriador (E_u), enfriando más al aire que entra a la columna (C), luego a través de la bomba (OP_1) hacia el intercambiador (E_1), en el cual también enfría más al aire entrante. Finalmente el oxígeno se gasifica y se lo llena en los cilindros.

- i) El nitrógeno impuro que viene de la columna de rectificación (C) en su recorrido fluye a través de los intercambiadores (E_3 y E_4), también enfriando más al aire de entrada.
- j) El N_2 es expandido en la turbina (T), es aquí donde se produce la transferencia de calor más fuerte, ya que el N_2 muy frío se

intercambia con el aire de entrada caliente.

- k) El 80% del nitrógeno que sale de la turbina es utilizado como gas regenerativo haciéndolo circular por uno de los absorbedores (A_1 , A_2).

6.1.2. DIAGRAMAS : DEL PROCESO Y ELECTRICO

Con la finalidad de hacer el análisis posterior en cada una de las secciones de la planta, fue conveniente elaborar un diagrama como el de la Fig. 6.2, en el cual se muestran datos tomados de la bitácoras de registro diario que toma el operador de la planta.

El diagrama eléctrico (Fig. 6.5) describe eléctricamente las máquinas instaladas en la planta.

6.1.3. DATOS DE LOS EQUIPOS : DE PLACA Y DE OPERACION

En la Tabla XVIII, se exhibe los datos de placa tomados en cada uno de los equipos de la planta, además su uso y alguna observación en

REFERENCIA	VOLT.	AMP.	KW	COS ψ	RPM	HZ	CLASE	MARCA	USO Y OBSERVACIONES
MC1	380 Δ	235	127	0.86	1.785	60	B	Siemens	Accionar compresor N° 1
MC2	380 Δ	235	127	0.86	1.785	60	B	Siemens	Accionar compresor N° 2
OP1	380 Δ	11.7	5.5	0.85	1.450	50	B	Siemens	Bomba de oxígeno #1 para bombear COX
BA1	380 Δ	8.4	4	0.90	3.440	50		KSB	Bomba de agua de refrigeración #1
BA2	380 Δ	8.4	4	0.90	3.440	50		KSB	Bomba de agua de refrigeración #2
FC-C	380Y	12.6	3.7		1.750				Compresor de la unidad de freon
FC-V1	380Y	1.1	0.58		1.680				Ventilador de la unidad de freon
FC-V2	380Y	1.1	0.58		1.680				Ventilador de la unidad de freon
BR	380 Δ	54	36	1	-	-	-	-	Banco de resistencias del tamiz (Grupo de 24 kw y 12 Kw)
BA	380 Δ	11.7	5.5	0.85	1.450	50		Siemens	Bomba exterior (almacenamiento)
T	380Y	0.7	0.2		3.100			AEG	Para producción de O ₂ líquido
BO	380Y	55	36	1	-	-	-	-	Banco de resistencias para el almacenamiento exterior 4 grupos de 9Kw c/u

DATOS TRANSFORMADOR SERVICIOS VARIOS

Capacidad : 25 KVA / monofasio
 Relación : 13.800/220/110 voltios
 A.A. : 18.000 BTU \approx 2 Kw

DATOS DE C/COMPRESOR

Flujo máximo de aire : 425 m³/hora
 Potencia mecánica : 89 Kw
 Presión : 0.87 + 30.4 BAR
 RPM : 1.050

DATOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Relación : 13.800/400 voltios
 Capacidad : 400 KVA/trifásico
 Amperaje : 16,75/578 A
 Reactancia : 4%

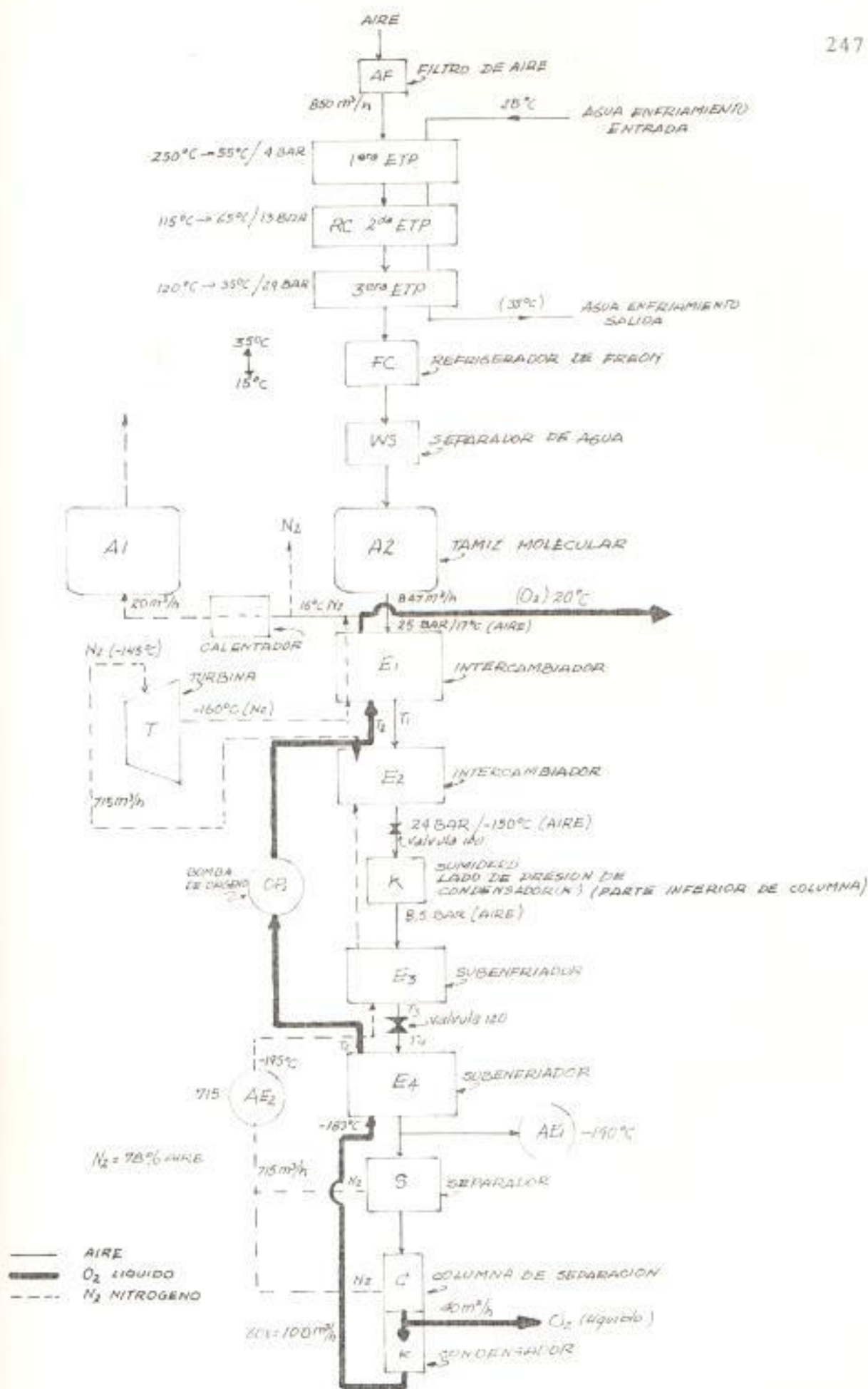


Fig. 6.2 ESQUEMA DE PRODUCCION DE OXIGENO

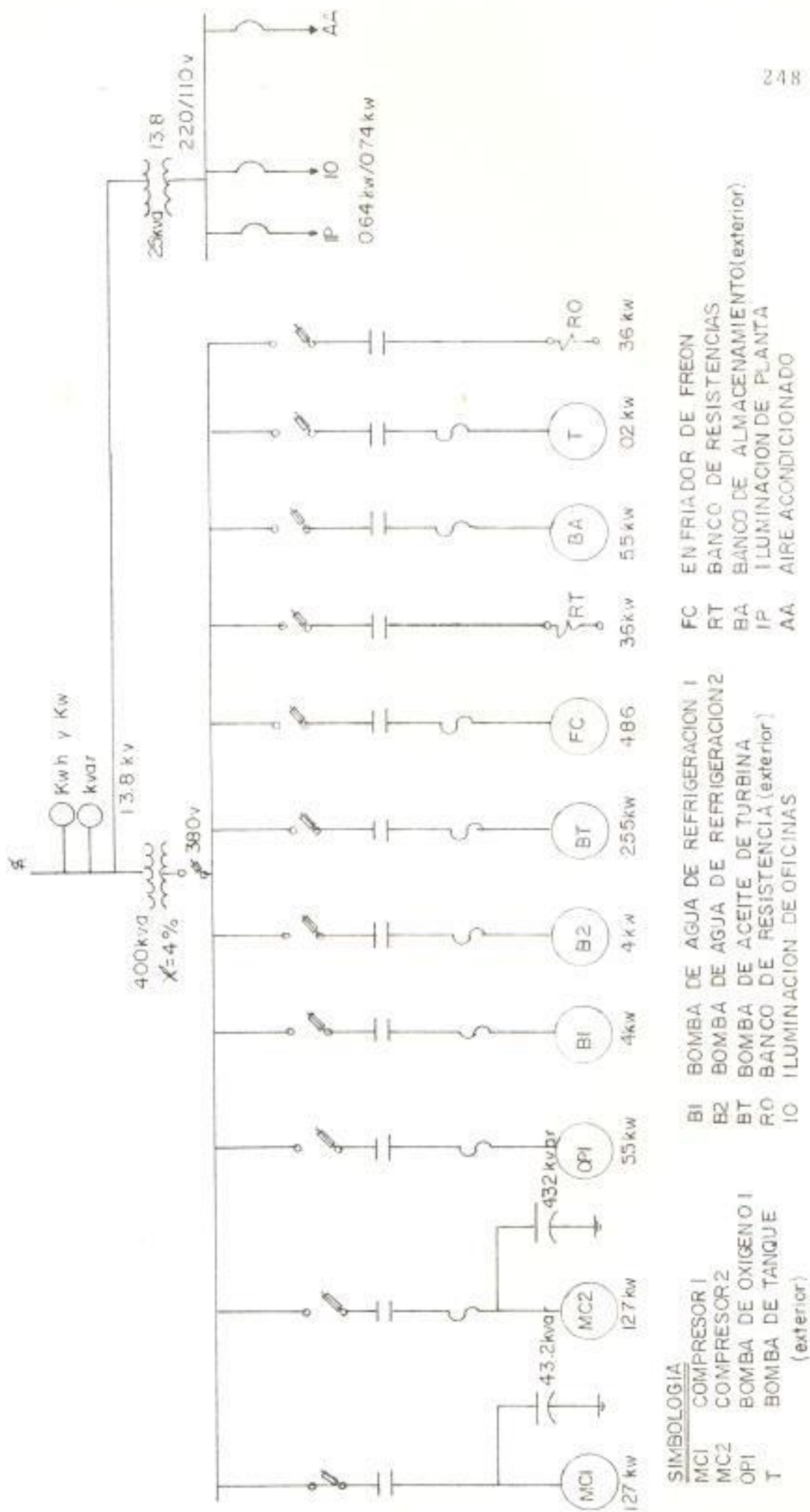


Fig. 6.5 DIAGRAMA ELECTRICO UNIFILAR

particular.

En la Fig. 6.4, se muestra una distribución general de la planta, además están los niveles de iluminación que se tomaron (en la noche ya que durante el día es bastante iluminado).

La Fig. 6.5, está la distribución de las oficinas de administración, así también se hace constar los niveles de iluminación que existen.

La Tabla XIX describe la iluminación tanto de planta como de oficina.

Con la finalidad de analizar la operación actual de los compresores e intercambiadores de calor se hace los balances teóricos de energía en las subsecciones "a" y "b".

a) BALANCE DE ENERGÍA EN COMPRESOR :

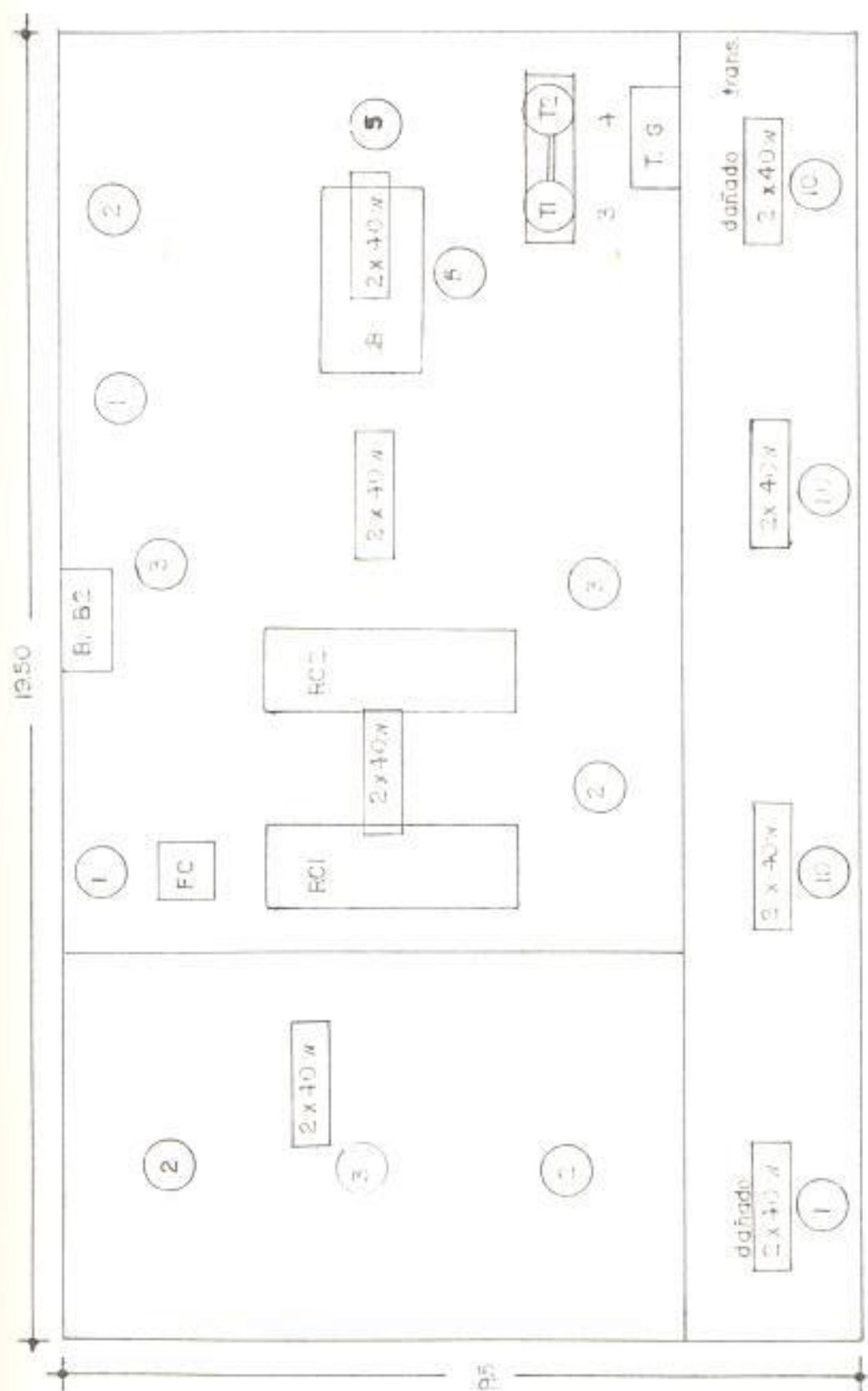
Datos del motor y compresor :

$$P_{mec} = 89 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo motor} = 93 \text{ Kw}$$

AREA SERVIDA	TIPO DE LUMINARIA	WATIOS POR LUMINARIA	CANTIDAD	TOTAL DE WATIOS	METODO DE CONTROL
<u>ILUMINACION INTERIOR</u>					
185 m ² (Planta)	Fluorescente	80	8	640	manual
84 (Oficina)	Fluorescente	40	6	240	manual
6 (Oficina)	Incandescente	100	2	200	manual
<u>ILUMINACION EXTERIOR</u> (Oficina)	Incandescente	150	2	300	manual

TABLA XIX DESCRIPCION DE LA ILUMINACION ACTUAL



○ MEDIDA DE ILUMINACION (lx en cd)

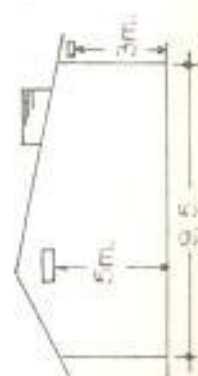


Fig. 6.4 DISTRIBUCION DE PLANTA Y NIVELES DE ILUMINACION

BALANCE DE ENERGIA

-A fin de estimar el trabajo que realiza el compresor en estas condiciones, se hace un balance de energía (Ver Apéndice E) de la siguiente forma :

$$W_E = Q_S - h_2 + h_1 \quad (E-2)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (\text{ver Tabla I del Apéndice E})$$

$$W_E = Q_S - \Delta h$$

donde:

W_E : Trabajo del compresor

Δh : Variación de entalpía

Q_S : Calor que sale

Se calcula el trabajo por etapas :

I ETAPA (Ver Fig. 6.6)

$$\Delta h = h_{523^\circ\text{K}} - h_{300^\circ\text{K}} = (125,62 - 71,70) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta h_{\text{total}} = 53,92 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times 280 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 15.097,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_{S_{\text{total}}} = C_p \dot{m} \Delta T = 0,248 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \cdot 280 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \quad (523^\circ\text{K} - 328^\circ\text{K})$$

$$Q_{S_{\text{total}}} = 13.540,8 \text{ Kcal/h}$$

$$\rho_{\text{aire}} / 1 \text{ bar} = 0,6592 \text{ kg/m}^3$$

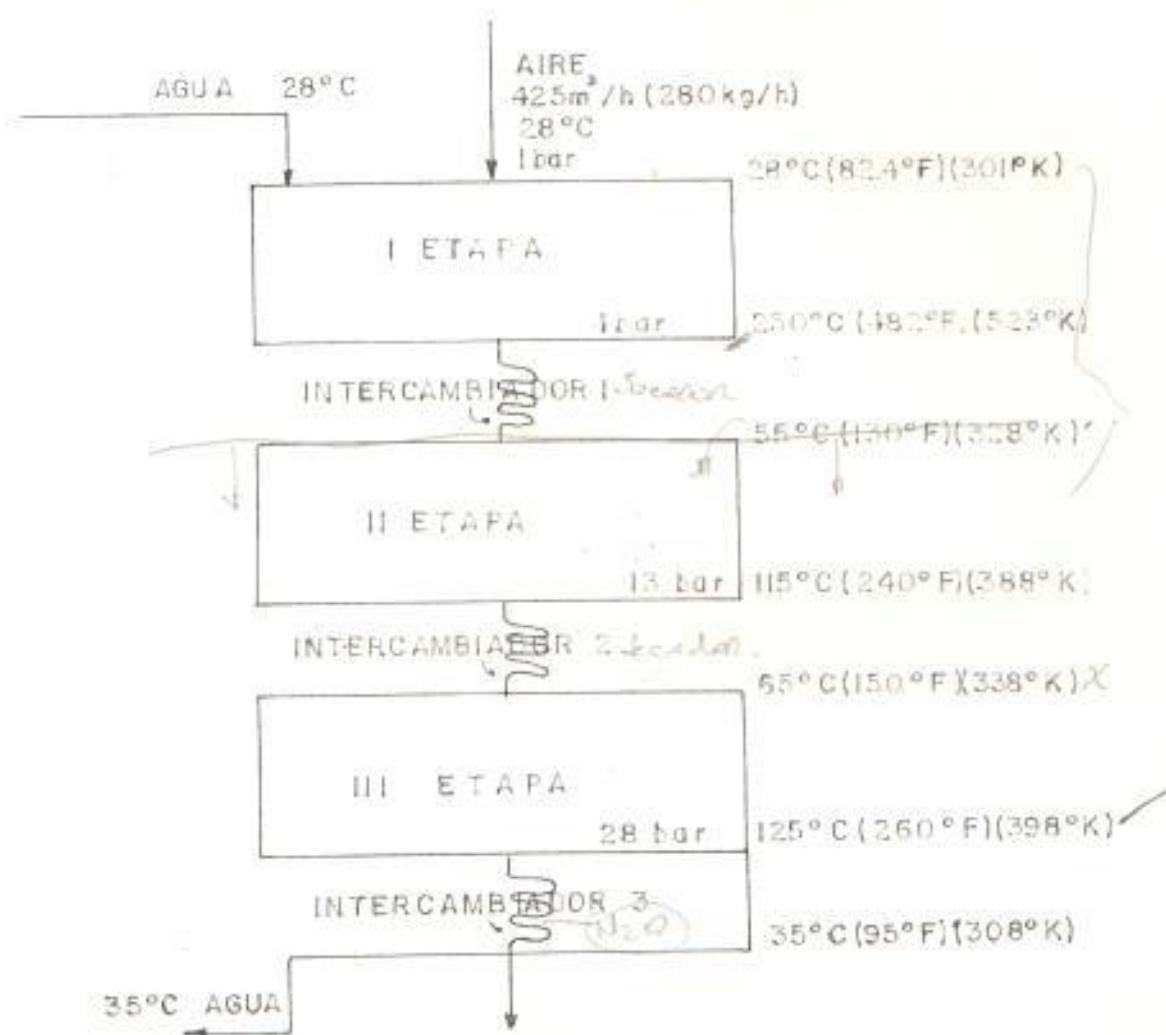


Fig. 6.6 ESQUEMA DEL COMPRESOR

$$W_{E_I} = (-13.540,8 - 15.097,6) \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ Kw}}{860 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$W_{E_I} = -33,3 \text{ Kw} \quad \Rightarrow \quad W_{E_I} = 33,3 \text{ Kw}$$

II ETAPA

$$\Delta h = h_{388^\circ\text{K}} - h_{328^\circ\text{K}} = 93,09 - 78,49 = 14,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta h_{\text{total}} = 14,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times 280 \text{ Kg/h} = 4.088 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_{s_{\text{total}}} = C_p \dot{m} \Delta T = (0,243) (280) (388 - 338) \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_{s_{\text{total}}} = 3.402 \text{ Kcal/h}$$

$$W_{E_{II}} = -3.402 - 4.088 = 7.490 \text{ Kcal/h}$$

$$W_{E_{II}} = -8,7 \text{ Kw} \quad W_{E_{II}} = 8,7 \text{ Kw}$$

III ETAPA

$$\Delta h = h_{398^\circ\text{K}} - h_{338^\circ\text{K}} = 95,77 - 80,92 = 14,85 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\Delta h_{\text{total}} = 14,85 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times 280 \text{ Kg/h} = 4.158 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_{s_{\text{total}}} = C_p \dot{m} \Delta T = (0,245) (280) (398 - 308)$$

$$Q_{s_{\text{total}}} = 6.124 \text{ Kcal/h}$$

$$W_{E_{III}} = (-6.124 - 4.158) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = -10.282 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$W_{E_{III}} = -11,96 \text{ Kw} \quad \Rightarrow \quad W_{E_{III}} = 11,96 \text{ Kw}$$

Trabajo aproximado que realiza el compresor en estas condiciones de temperaturas y presiones :

$$\begin{aligned} W_{E_{\text{total}}} &= W_{E_I} + W_{E_{II}} + W_{E_{III}} \\ &= 33,3 + 8,7 + 11,96 = 53,96 \text{ Kw} \end{aligned}$$

$$W_{E_{\text{real}}} = 1,05 (53,96) = 56,6 \text{ Kw}$$

considerando un 10% de pérdidas $\rightarrow W_E = 62 \text{ Kw}$

Sacando el porcentaje de trabajo que está haciendo el compresor (mecánicamente) respecto a su capacidad nominal es :

$$\% w = \frac{62}{89} = 70\%$$

$$\% w \approx 70\%$$

NOTA: Se debe tomar en cuenta que éste porcentaje es instantáneo, ya que se basa sobre datos instantáneos. Además éste cálculo es el más elemental, quizá haciendo análisis más avanzados se puede determinar una potencia exacta que desarrolla el compresor.

BALANCE DE ENERGIA EN LOS INTERCAMBIADORES:
Por las ecuaciones de balance de energía se tiene que : (Ver Fig. 6.7)

$$Q_{\text{aire}} = Q_{O_2} + Q_{N_2} - Q_{\text{p\`er}a} \quad (6.1)$$

$$Q_{\text{aire}} = \bar{C}_{p_{\text{air}}} \dot{m} \Delta t = 0,254 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} \cdot 560 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} (290^\circ\text{K} - 83^\circ\text{K})$$

$$Q_{\text{aire}} = 27.125,28 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{O_2} = \bar{C}_{p_{O_2}} \dot{m} \Delta t = (0,217) (118) (296-83) = 5.454,08 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{N_2} = \bar{C}_{p_{N_2}} \dot{m} \Delta t = (0,248) (437) (134-78) + 289-1131$$

$$Q_{N_2} = 25.143,2 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{p\`er}didas} = Q_{O_2} + Q_{N_2} - Q_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{p\`er}didas} = 5.454,08 + 25.143,2 - 27.125,28$$

$$Q_{\text{p\`er}didas} = 3.472 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{Q_{\text{p\`er}didas}}{Q_{O_2} + Q_{N_2}} = 1 - \frac{3.472}{5.454,08 + 25.143,2} \quad (6.2)$$

$$= 1 - 0,11347 = 0,887$$

$$\text{Eficiencia} = 88,7\%$$

Cuando no se produce COX, el sistema de intercambiadores de calor, funciona de la siguiente forma :

Porcentaje de la energıa que recibe el aire, respecto su valor nominal.

$$\% = \frac{Q_{N_2} - Q_{\text{p\`er}didas}}{Q_{\text{aire}}} = \frac{25.143,2 - 3.472}{27.125,28} \quad (6.3)$$

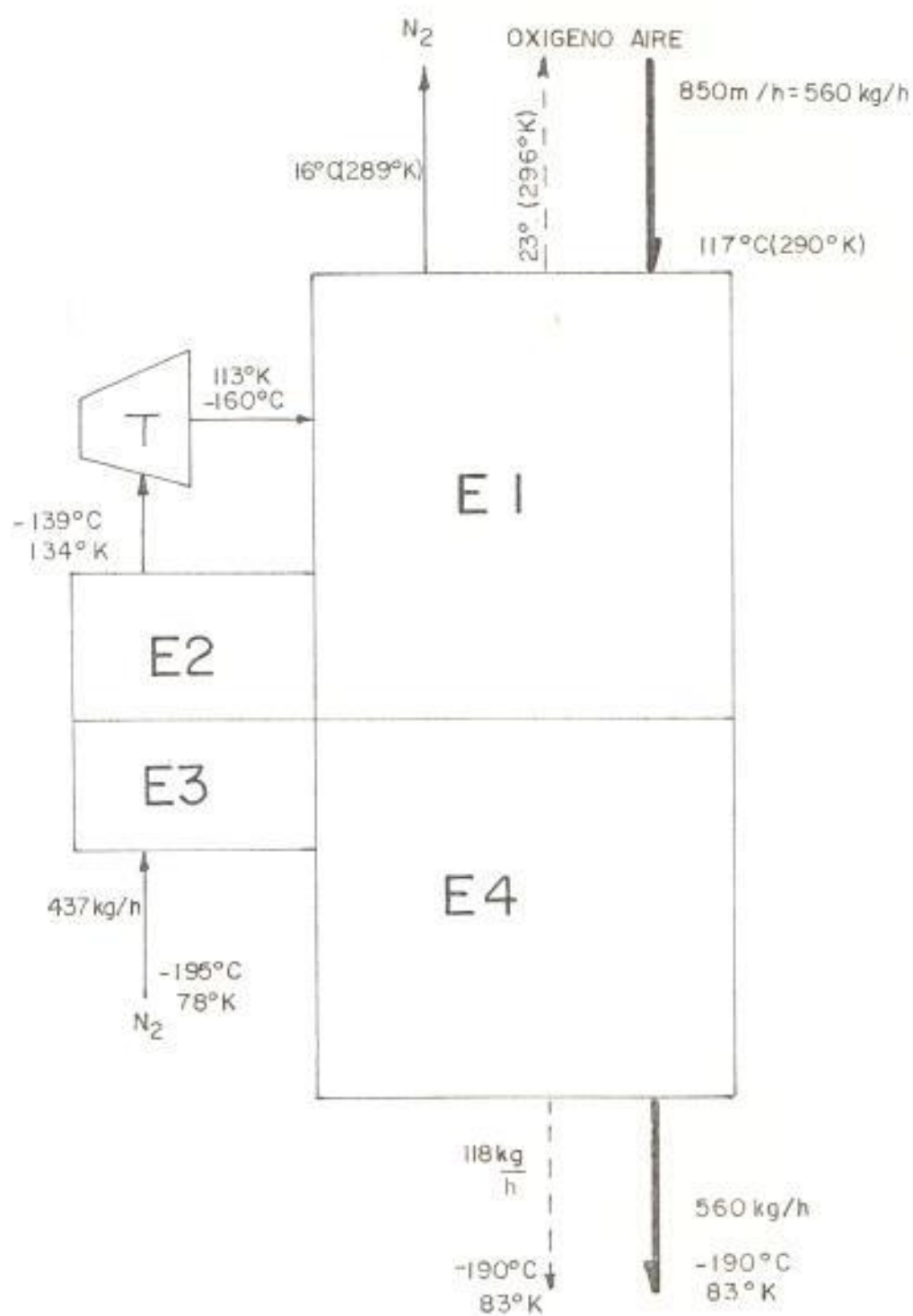


Fig. 6.7 ESQUEMA DE LOS INTERCAMBIADORES COMO UN SOLO SISTEMA

$$\xi = 79,89$$

6.1.4 CURVAS DE CARGA

Los datos de potencia instantáneos, medidos en típico día de funcionamiento de la planta son los siguientes :

<u>HORA</u>	<u>KW</u>	<u>HORA</u>	<u>KW</u>
0:00	214	12:30	221
0:50	215	13:00	216
1:00	240	13:30	219
1:30	211	14:00	217
2:00	215	14:30	225
2:30	210	15:00	227
3:00	212	15:30	217
3:30	211	16:00	220
4:00	175	16:30	219
4:30	190	17:00	217
5:00	221	17:30	214
5:30	211	18:00	216
6:00	234	18:30	220
6:30	222	19:00	224
7:00	219	19:30	221
7:30	212	20:00	233
8:00	217	20:30	208
8:30	222	21:00	214
9:00	240	21:30	234
9:30	227	22:00	235
10:00	228	22:30	212
10:30	247	23:00	210
11:00	216	23:30	208
11:30	228	24:00	214
12:00	218		

En las Fig. 6.8a y b, se encuentran graficados los valores antes mencionados.

La Fig. 6.8a nos muestra que existe una carga bastante constante durante el día en la planta, a excepción de algunos picos que son debidos fundamentalmente a la entrada de un banco de resistencias (24Kw) del tamiz molecular.

La Fig. 6.8b, es la curva de duración de carga diaria, aquí se nota claramente que más o menos 220 Kw son potencia promedio que dura casi las 24 horas, lógicamente que existen unas horas (8 aproximadamente) en que el consumo es mayor y el resto del día (16 horas) es menor.

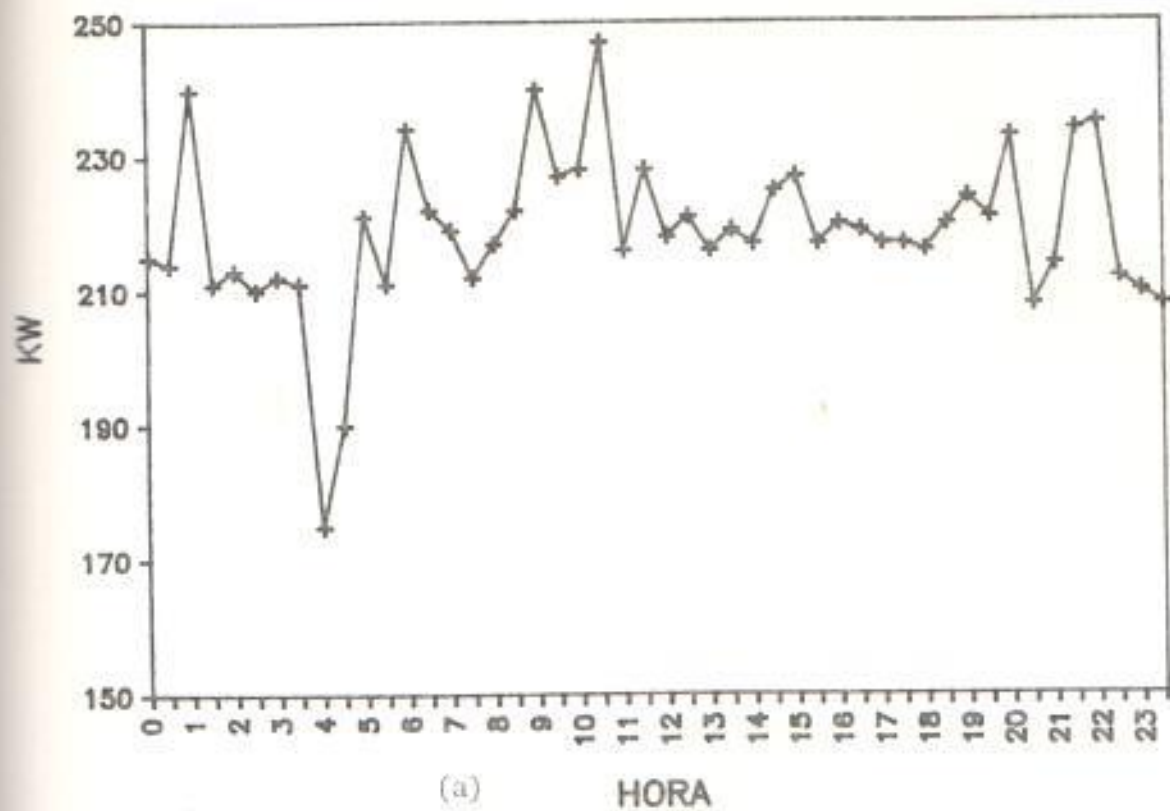
La Fig. 6.8b, nos sirve además para estimar un consumo diario y mensual de energía (Kwh). Calculando el área de esta curva encontramos el consumo de Kwh diario.

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 150 \text{ Kw} \times 24\text{h} + 60 \text{ Kw} \times 24\text{h} + \frac{1}{2} (20\text{Kw} \times 24\text{h}) \quad (6,4) \\ &= 3,600 + 1,440 + 120 = 5,160 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo diario} &= \text{Area} = 5,160 \text{ Kwh} \\ &(\text{Kwh}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensual} &= 5,160 \times 30 = 154,800 \text{ Kwh} \\ &(\text{Kwh}) \end{aligned}$$

CURVA DE CARGA DIARIA



CURVA DE DURACION DE CARGA DIARIA

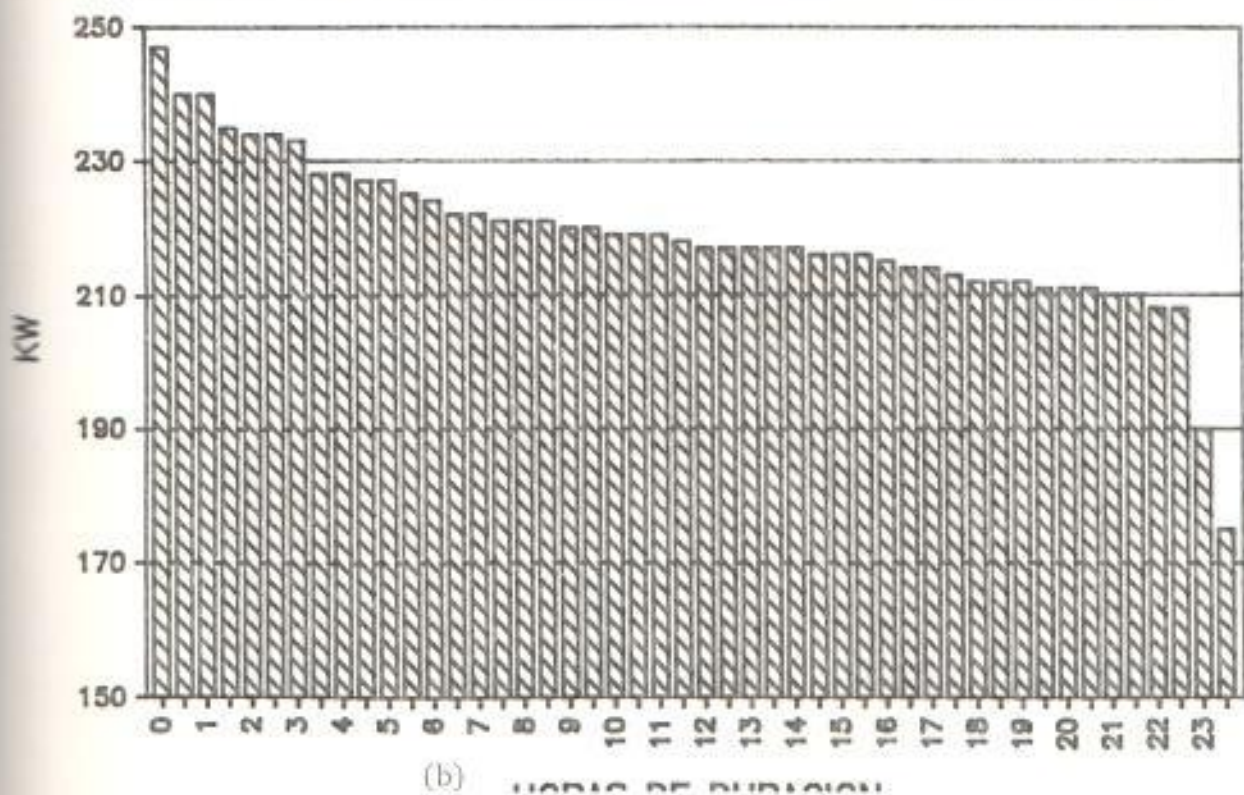


Fig. 6.8 CURVAS DE CARGA

6.1.5 DATOS HISTORICOS DE PRODUCCION Y CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA ELECTRICA.

Los datos que se muestran en la Tabla XX, son desde Abril/86 hasta Nov/86, es decir 8 datos. Aquí se debe hacer las siguientes aclaraciones :

- El funcionamiento de la planta en éste período de tiempo es bastante irregular, como se ve claramente en la columna de horas mensuales de operación.
- No fue posible obtener más datos, ya que anteriormente, ésta planta perteneció a otra compañía que ya no existe.
- Los manuales de conservación de energía recomiendan tener, por lo menos, el comportamiento de la planta en los 12 meses anteriores que sean de operación normal.
- Por lo tanto los modelos de consumo eléctrico (en sucres y kWh) versus producción que se obtengan en la subsección "a" y "b" serán muy válidos estadísticamente hablando, pero en cuanto a su validez real es mejor tomar ésto como referencia.

MES	TOTAL DE OXIGENO (m ³)	LOX (m ³)	GOX (m ³)	HORAS DE OPERAC.	CONSUMO DE KWH	COSTO DE ENERG. ELEC.	FACTOR DE POTENCIA	DEMANDA	FACTOR DE CARGA	COSTO S./KWH	RENDIMIENTO m ³ /HORA
Abril	53.960	1.206	32.754	554	110.600	496.430	0.96	266	0.56	4.49	61.3
Mayo	2.760	804	1.956	75	71.050	339.358	0.95	266	0.36	4.78	36.8
Junio	0	0	0	0	0	31.354	0.99	266	0.00	-	0
Julio	5.550	1.848	3.702	90	700	158.483	0.20	266	0.00	226.4	61.7
Agosto	42.386	6.096	36.290	700	148.400	738.278	0.90	266	0.76	4.97	60.5
Sept.	33.084	3.618	29.466	571							57.9
Oct.	33.359	5.244	28.115	624	133.700	709.124	0.96	266	0.68	5.30	53.5
Nov.	20.610	3.470	17.140	348	81.900	461.476	0.96	266	0.42	5.63	59.2

Capacidad nominal de la planta : 100 m³/hora (GOX)

Capacidad de cada botella (GOX) : 6 m³

Capacidad de cada termo (LOX) : 134 m³

GOX : Oxígeno Gaseoso

LOX : Oxígeno Líquido

TABLA XX DATOS DE CONSUMO Y PRODUCCION MENSUAL

- El rendimiento de la planta, que tiene un promedio de $59 \text{ m}^3/\text{hora}$, está afectado notablemente respecto a su valor nominal de $100 \text{ m}^3/\text{hora}$, es debido a que en cada mes hubo una producción de LOX (Oxígeno líquido) en el cual el rendimiento baja notablemente ya que el oxígeno gaseoso no pasa por E_2 y E_3 , lo cual no permite que el aire que entra a la columna entre lo suficientemente frío.

a) ELABORACION DEL MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA (Kwh) VERSUS PRODUCCION (m^3 O₂).

<u>CONSUMO</u> (Kwh)	<u>PRODUCCION</u> ($\text{m}^3 \text{ O}_2$)
110.600	33.960
71.050	2.760
700	5.550
148.400	42.386
133.700	33.359
81.900	20.610

Asumir modelo $y = a + bx$

Por mínimos cuadrados :

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Calculando se tiene :

$$\sum y = 546.350$$

$$\sum x^2 = 4,5 \times 10^9$$

$$\sum x = 138.625$$

$$\sum xy = 1,64 \times 10^{10}$$

$$N = 6$$

$$(\sum x)^2 = 1,92 \times 10^{10}$$

Lo cual da los siguientes coeficientes :

$$a = 24.359$$

$$b = 2.9$$

$$E = 24.359 + 2.9 P$$

(6.5)

A fin de probar la validez del modelo, estadísticamente, se saca el factor de correlación :

$$\rho(x,y) = \frac{a \sum y + b \sum xy - \bar{y} \sum y}{\sum y^2 - \bar{y} \sum y}$$

$$a = 24.359$$

$$\sum y = 546.350$$

$$b = 2.9$$

$$\sum xy = 1,64 \times 10^{10}$$

$$\bar{y} = 91.058$$

$$\sum y^2 = 6,39 \times 10^{10}$$

dando como resultado un $\rho(x,y) = 0,89$ lo cual explica que el modelo estadísticamente es válido.

b) Por el mismo método anterior se deduce el modelo de costo de energía versus producción:

DATOS

CONSUMO (sucres)	PRODUCCION (m ³ O ₂)
496.430	33.960
339.358	2.760
31.354	0
158.483	5.550
738.278	42.380
709.124	33.359
461.476	20.610

CALCULOS :

$$\Sigma y = 2'934.503$$

$$y = 419.215$$

$$\Sigma x = 4.5 \times 10^9$$

$$\Sigma x = 138.625$$

$$\Sigma xy = 8,314 \times 10^{10}$$

$$N = 7$$

$$(\Sigma x)^2 = 1.92 \times 10^{10}$$

Dando como resultado :

$$a = 138.211 \quad b = 14,24$$

$$C = 138.211 + 14,24 P \quad [6.6]$$

El factor de correlación será :

$$\rho(x,y) = 0.93$$

Los modelos 6.5 y 6.6 están graficados en la Fig. 6.9a y 6.9b, respectivamente.

La Fig. 6.10 muestra que cuando el factor de carga disminuye a niveles menores de 0.4 el valor de Kwh se eleva en una forma asintótica, lo cual es muy peligroso para el rubro costos de producción.

6.2 RECOMENDACIONES DE MEDIDAS PARA AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA,

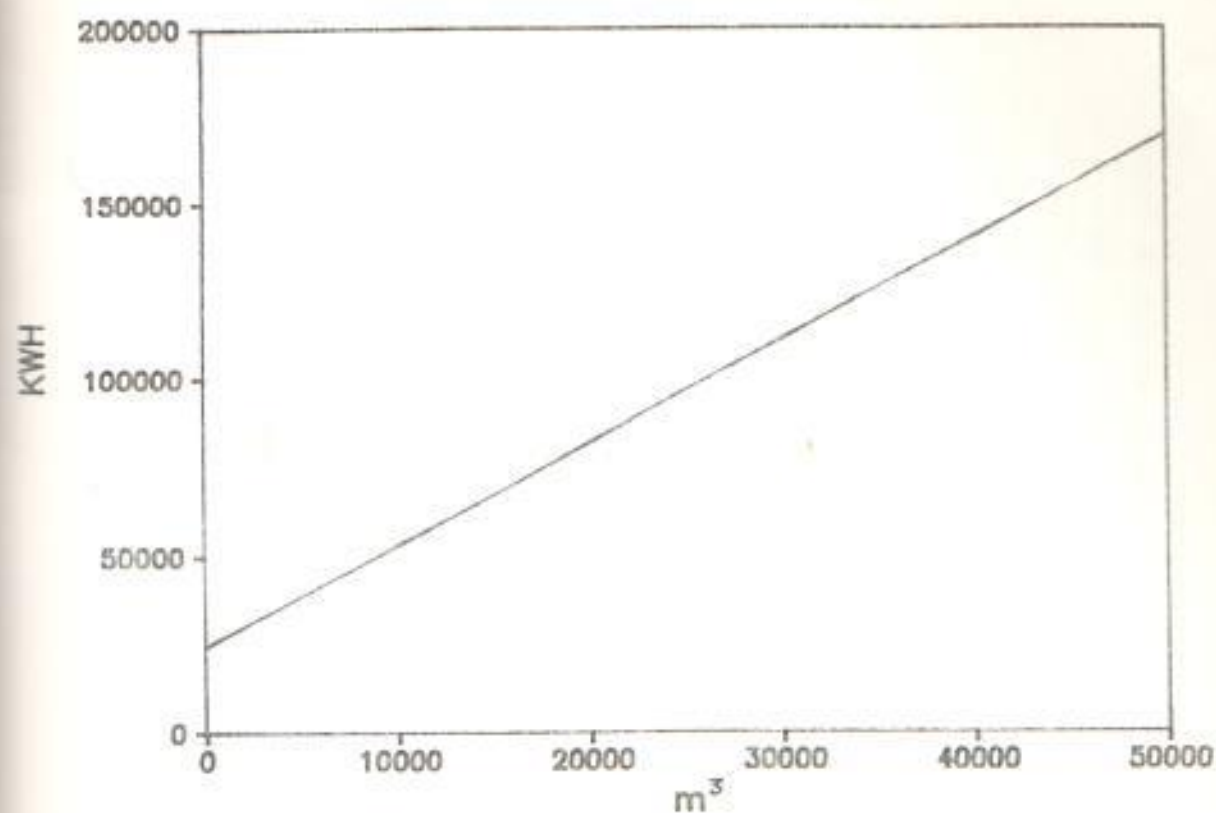
A continuación se hace recomendaciones para ahorrar energía eléctrica en esta planta.

6.2.1 MEDIDAS DE BAJO COSTO

i. PENALIZACION POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

ANTECEDENTES : Esta industria en general tiene un buen factor de potencia (0.95 en promedio), pero sucede que en los meses que la operación de la planta se reduce al mínimo, el factor de potencia desmejora notablemente, como es el caso del mes de Julio de 1986, en que la planta tuvo 90 horas de funcionamiento y un consumo de 700 Kwh, se pagó un valor de planilla de 158.656

ENERGIA-PRODUCCION



COSTO-PRODUCCION

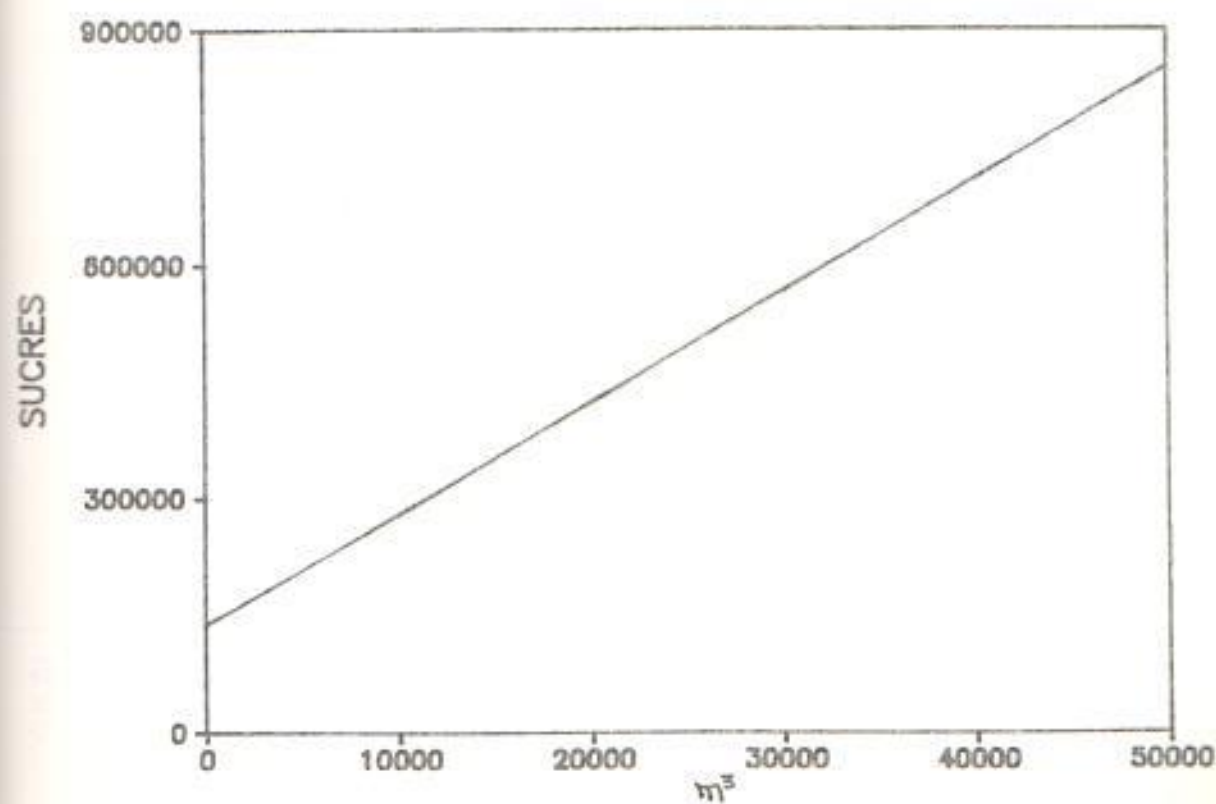


Fig. 6.9 MODELOS DE CONSUMO DE LA PLANTA.

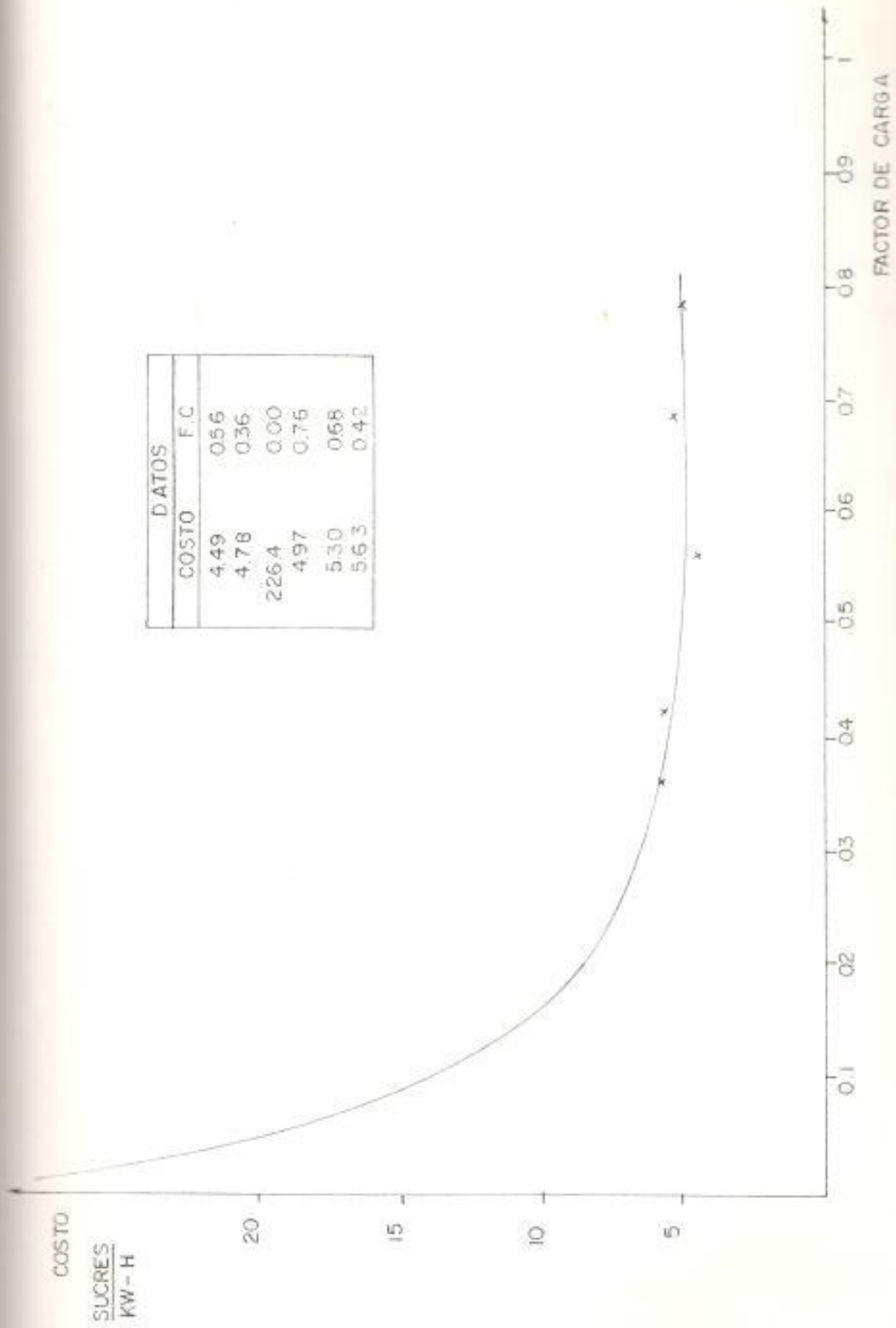


FIG. 6.10 INFLUENCIA DEL FACTOR DE CARGA EN EL COSTO DEL KWH

cuando debió haberse pagado máximo 35.514, lo cual demuestra que este mes se pagó 123.142 sucres de penalización o multa.

En las siguientes expresiones se puede ver como la empresa eléctrica factura los consumos :

$$GM = \left((D)(T.D) + (E)(T.E) \right) \times 1.1 + 330 \quad (1.16b)$$

$$GM = \left(266 (109,21) + (700)(4,1932) \right) \times 1.1 + 330$$

$$GM = 35.514 \quad (\text{sin penalización})$$

$$GM = \left(266 (109,21) + 700 (4,1932) \right) \times \frac{0.9}{0.2} \times 1.1 + 330$$

$$GM = 158,656 \quad (\text{con penalización})$$

CAUSAS PARA LA PENALIZACION :

Si se consumió 700 kwh a F.P. = 0.2, indica que éste mes se consumió la siguiente cantidad de KVARH.

$$\tan \theta = \frac{\text{KVARH}}{\text{Kwh}}$$

$$\tan (\cos^{-1} \text{F.P.}) = \frac{\text{KVARH}}{\text{Kwh}}$$

$$\text{KVARH} = \tan (78.5^\circ) \times 700 = 3.429,3$$

Según Tabla XIII, un transformador de 400 KVA consume aproximadamente 6,8 KVAR.

Si el mes de julio se facturó 28 días según la planilla; los KVARH teóricos será :

$$\begin{aligned} \text{KVARH}_{\text{teóricos}} &= 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 6,8 \text{ KVAR} \\ &= 4.569,6 \text{ KVARH/mes} \end{aligned}$$

lógicamente éste valor, aunque relativamente cercano a los KVARH facturados, no coincide ya que la potencia reactiva total real de consumo en vacío de éste transformador se la debe medir.

SUGERENCIA TECNICA : A futuro se debe tomar en cuenta que cuando la planta tenga una parada considerable (varios días) se debe desconectar el transformador para evitar penalizaciones.

EVALUACION ECONOMICA :

La única inversión que se debe hacer para ésta medida conservacionista es la compra de una pértiga de alta tensión, que podría tener un costo aproximado de unos 70.000 sucres, que si se estima que la planta por alguna razón va a tener una fuerte parada de

algunos días, se puede recuperar la inversión en unos pocos días.

EJEMPLO:

Si la inversión se hubiese hecho, antes de la parada del mes de julio de 1986 el tiempo de recuperación hubiese sido :

$$P = \frac{70.000}{123.142} = 0,568 \times 30 = 17 \text{ días}$$

ii. EVALUACION Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACION.

ANTECEDENTES :

Como se ve en la Fig. 6.4, el nivel promedio de iluminación de la parte interna de la planta (sala de maquinaria) es de 3 pie-candela aproximadamente 30 lux. Aquí existen 4 lámparas fluorescentes de 2 x 40 w cada una. Por lo tanto se tiene 320 wátios.

Las normas DIN 5035 (Tabla I, Apéndice C) recomiendan, para este tipo de trabajo un nivel mínimo de 100 lux.

En la parte exterior de la oficina se tiene una iluminación de 5 pie-candela (=50 lux),

con focos incandescentes (2 x 150 w = 300 w), aquí el nivel es bueno pero el tipo de luminaria es antieconómico.

En éstas condiciones, ésta parte del sistema de iluminación tiene un consumo aproximado mensual de :

$$\text{Consumo (mes)} = 7,44 \frac{\text{Kwh}}{\text{día}} \times 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 223 \text{ Kwh/mes}$$

SUGERENCIA TECNICA :

A continuación se hace el cálculo, de cuantas luminarias tipo industrial de 175 w. Vapor de mercurio, se deben colocar a fin de consiguiendo el mínimo nivel de iluminación se ahorre energía.

CALCULO (Método de rendimiento de la iluminación)

Tipo : Alumbrado general

$$\phi_T = \frac{E_m S}{n \times fc}$$

$E_m = 100 \text{ lux}$ (Tabla I, Apéndice C)

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_L$$

INDICE DEL LOCAL (K)

$$K = \frac{a \times b}{h(a+b)} \quad (3.7)$$

donde : $a = 19,5$ $b=7$ $h = 5 - 0.85 = 4,15$

$$K = \frac{19,5 \times 7}{4,15 (19,5 + 7)} = 1,24 \quad \rightarrow \quad K = 1,24$$

$$\rho_1 = \text{Reflexión del techo} = 0,5$$

$$\rho_2 = \text{Reflexión de paredes} = 0,5$$

$$\rho_3 = \text{Reflexión de piso} = 0,5$$

Si se asume que el tipo de luminaria a colocar es del tipo A2 (directa-intensiva).

$$\eta_R = 0,68 \quad (\text{Tabla III, Apéndice C})$$

$$\eta_L = 0,80 \quad (\text{Dato del fabricante})$$

$$\eta = 0,68 \times 0,8 = 0,544$$

$$fc = 0,8 \quad (\text{instalación libre de polvo})$$

$$\Phi_T = \frac{100 \text{ lux} \times 140 \text{ m}^2}{0,544 \times 0,8} = 32.169 \text{ lumens}$$

Puntos de luz (N)

$$N = \frac{32.169 \text{ (lumens)}}{7.900 \text{ lumens/luminaria}} = 4,07 \text{ luminarias}$$

$$N = 4 \quad \text{puntos de luz o luminarias}$$

La distancia entre una y otra será de 4 m.

En la parte exterior de la oficina debe colocarse una luminaria de vapor de mercurio con brazo de 175 w.

EVALUACION ECONOMICA :

El nuevo consumo de ésta sección será :

$$5 \text{ luminarias} \frac{0.175 \text{ Kw}}{\text{luminaria}} \times 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} =$$

$$= 315 \text{ Kwh}$$

COSTO INICIAL APROXIMADO :

4 luminarias tipo industrial	= 12.500 x 4 = 50.000
1 luminaria tipo brazo	= 11.800 x 1 = 11.800
TOTAL	61.800

Es obvio que ésta medida es algo especial ya que aquí no se consigue un ahorro, en forma directa, de energía, y por lo tanto de gastos. Debido a que se ha aumentado notablemente el nivel de iluminación.

Esta medida tiene más bien a conseguir un ahorro a través de conseguir un mejor desempeño del obrero y por seguridad industrial del mismo.

iii . TRABAJO REALIZADO POR EL COMPRESOR

ANTECEDENTES : Como se ve el balance de energía que se le hizo a compresor (en la sección 6.3), esta unidad realiza un trabajo muy superior en la primera etapa, dando como resultado un porcentaje de carga respecto a la nominal del $\approx 70\%$, claro que éste valor es instantáneo, pero nos sirve para demostrar que la eficiencia de éste compresor dependen fuertemente de las temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento en cada etapa.

Esta planta tiene un sistema de enfriamiento del agua de refrigeración por medio de una "torre de enfriamiento", esta tiene las siguientes dimensiones (Ver Fig. 6.11).

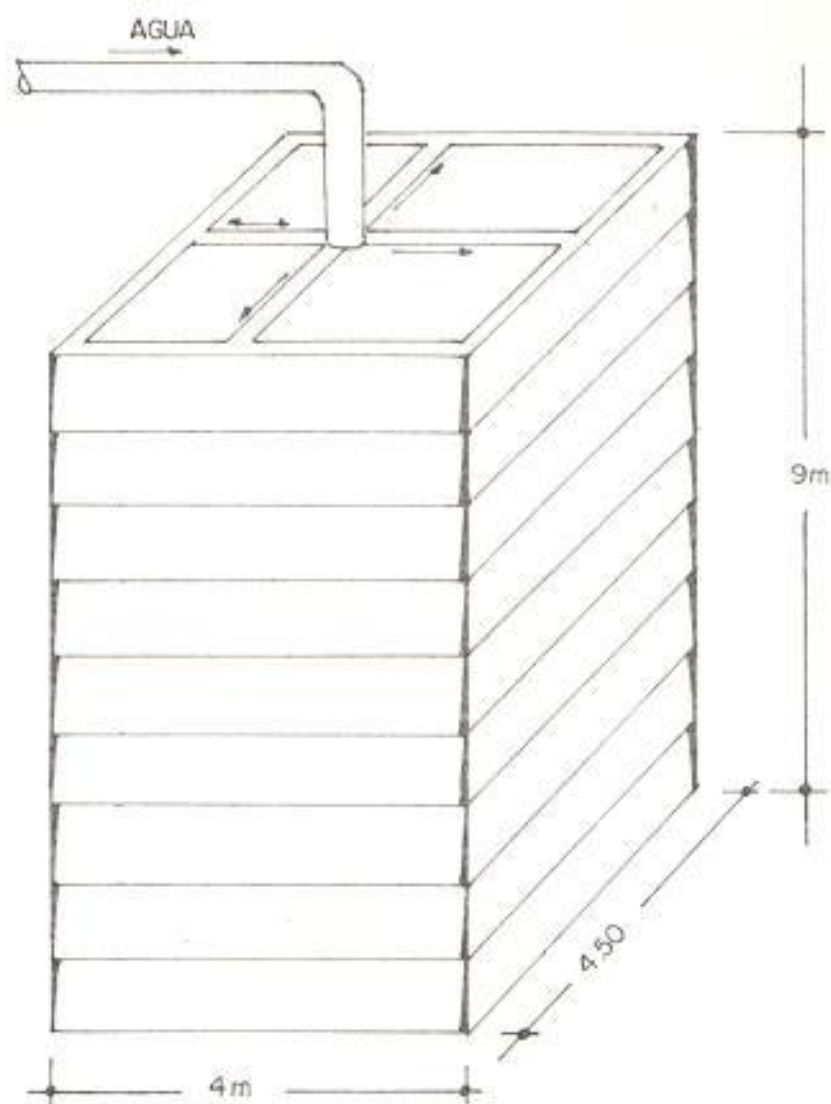


Fig. 6.11 TORRE DE ENFRIAMIENTO

Como se puede ver en la Fig. 6.11, el agua que sale con elevada temperatura ($\approx 40^{\circ}\text{C}$) de los intercambiadores, llega a la parte superior y en forma radial se distribuye en cuatro ramales equidistantes; teóricamente el agua se debe distribuir en igual cantidad a lo largo de toda la tubería que rodea la torre, pero actualmente sucede que, por falta de mantenimiento, el agua sale en grandes chorros en los agujeros cercanos a la tubería radial, ésto produce una disminución en la capacidad de enfriamiento de la torre, por lo tanto no se consigue un ΔT ideal ($12-15^{\circ}\text{C}$) todo ésto causa una disminución en el trabajo del compresor.

SUGERENCIA TECNICA:

Se debe hacer una limpieza general de la torre, su tubería, arreglo de sus tablas (paredes de la torre).

EVALUACION ECONOMICA:

Esta medida requiere de unos pocos miles de sucres, a cambio de que el rendimiento del compresor aumenta y por lo tanto la planta produce más oxígeno, consiguiendo que la re

cuperación del capital sea rapidísima. La mejor forma de cuantificar ésta medida es poniéndola en práctica, ya que por otro lado es algo necesario.

iv. AIRE ACONDICIONADO DE OFICINA

ANTECEDENTES :

En la oficina de administración (área aproximada 30 m^2) existen dos aires acondicionados de 18.000 BTU cada uno (2 Kw de potencia).

Considerando un funcionamiento promedio de 8 horas diarias y 22 días/mes, cada unidad consume 352 Kwh.

Tomando el precio de Kwh = 5.03 (Nov-86), cada aire consume S/. 1.960.

SOLUCION TECNICA :

Según normas de aire acondicionado, se recomienda que para el tipo de oficina en mención un promedio de $500 - 600 \text{ BTU/m}^2$ es suficiente.

$$\text{BTU}_{\text{requerido}} = 600 \times 30 = 18.000 \text{ BTU}$$

Por lo tanto es suficiente un sólo equipo.

EVALUACION ECONOMICA :

Como se puede ver, aquí no existe ninguna inversión, por el contrario, hay el ingreso de un valor, dando como resultado que la medida sea muy rentable.

~~V.~~ MEDIDAS DE MEDIANO Y ALTO COSTO

ANTECEDENTES :

En la actualidad existen dos motores eléctricos de 127 Kw para los dos compresores.

La potencia eléctrica que consumen éstos motores es de 95Kw.

Si se considera que :

- a) El tipo de carga (compresor) no es una carga de alto torque y además es casi constante.
- b) Que actualmente el compresor desarrolla una potencia como máximo de 80 Kw, se puede concluir que el motor está funcionando entre un 50 - 55% sobredimensionado.

SUGERENCIA TECNICA :

Para ésta carga, lo más conveniente, es un motor de 110 Kw como máximo, tipo NEMA A, y de servicio continuo S_1 ,

El motor actual está aproximadamente a una carga de $\frac{75 \text{ Kw}}{124 \text{ Kw}} = 60\%$ respecto la nominal,

lo cual da un rendimiento de $75/95 = 79\%$.

ANALISIS ECONOMICO :

a) METODO DE REPAGO :

Para dos motores con diferentes eficiencias y potencias el ahorro se calculará así :

$$S = Kw \times C \times N \left(\frac{100}{E_B} - \frac{100}{E_A} \right)$$

$$S = Kw \times C \times N \frac{100}{E_B} - Kw \times C \times N \times \frac{100}{E_A}$$

donde:

$$C = 5,63 \text{ s/. /Kwh (Nov-86)}$$

$$N = 8.000 \text{ horas/año}$$

$$S = 127 (5,63) (8.000) \frac{100}{79} - 110(5,63)(8.000) \frac{100}{95,8}$$

$$S = 2'069.000$$

Calculando el período de repago :

$$P = \frac{C_A - C_B}{S} \quad (2.29)$$

$$C_A = 1'300.000 \text{ sucres}$$

$$C_B = 400.000 \text{ (valor actual del motor B)}$$

$$P = \frac{1'300.000 - 400.000}{2'069.000} = 5 \text{ meses}$$

b) CONSIDERANDO EL FACTOR DE PENALIZACION:

$$S/./Kw \text{ pérdidas} = C \times N \times n \quad (2.30)$$

$$i = \frac{1 + r_1}{1 + r_2} - 1 \quad (2.31)$$

$$\sum_{n=1}^{n=n} \frac{1}{1+i} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2.32)$$

$$S/./Kw \text{ pérdidas (VP)} = C \times N \times \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (2.33)$$

PARA MOTOR B (actual). Vida económica

5 años.

$$i = \frac{1 + 0.5}{1 + 0.42} - 1 = 0,056$$

$$S/./Kw \text{ pérdidas (VP)} = (5.63)(8.000) \frac{(1+0,056)^5 - 1}{(0,056)(1+0,056)^5}$$

$$S/./Kw \text{ pérdidas} = 190.327$$

$$Kw_{\text{pérdidas}} = Kw \left(\frac{100}{E_B} - 1 \right) = 127 \left(\frac{100}{79} - 1 \right) = 33,76$$

Calculando el valor del motor hasta que acabe económicamente se tiene :

$$\begin{aligned} \text{Costo residual de B} &= 400.000 \text{ sucres} \\ \text{Costo de pérdidas} &= 6'425.439 \text{ sucres} \\ \text{Costo total de B} &= 6'825.439 \text{ sucres} \end{aligned}$$

PARA MOTOR A (U.S. motor - de alta eficiencia y 110 Kw)

$$\begin{aligned} s/./Kw_{\text{pérdidas(VP)}} &= (5,63) (8.000) \frac{(1 + 0,056)^{15}}{(0,056) (1+0,056)^{15}} \\ &= 448.407 \end{aligned}$$

$$Kw_{\text{pérdidas}} = 110 \left(\frac{100}{95,8} - 1 \right) = 4,82$$

$$\text{Costo de pérdidas} = 448.407 \times 4,82 = 2'161.322 \text{ sucres}$$

Si se calcula el valor del motor hasta que muera económicamente se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Costo del motor A} &= 1'300.000 \\ \text{Costo de pérdidas} &= 2'161.322 \\ \text{Costo total de A} &= 3'461.322 \end{aligned}$$

Como se puede ver, es justificable económicamente el campo a motores más eficientes, ya que se consigue un ahorro de unos 3'364.117 sucres, en los próximos 5 años.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusiones tenemos:

- 1) Esta tesis reúne los temas básicos para poder llevar a cabo cualquier auditoría eléctrica por parte de una persona interesada en el asunto.
- 2) Con el incremento mensual del 3% de la tarifa eléctrica se hace imperiosa la necesidad de concientizar a las personas involucradas en el sector industrial, sobre la importancia que tiene de realizar una auditoría eléctrica.
- 3) Aunque en el aspecto de iluminación, en nuestro medio, no se consigue ahorros de energía, sin embargo es importante auditar con la finalidad de recomendar los mínimos niveles de iluminación, a fin de elevar el rendimiento del obrero y proteger su salud.
- 4) Dentro del aspecto de corrección de factor de potencia es donde la gente está concientizada, pero en lo que se refiere a uso de capacitores, sin embargo no existe mucho conocimiento respecto a motores síncronos, que para determinadas aplicaciones resulta muy conveniente (grandes industrias).

Como recomendaciones tenemos:

- 1) Se recomienda que el conocimiento y uso de las sencillas técnicas de conservación deben ser fundamentales en cualquier profesional.

- 2) Se debe continuar en el propósito de concientizar a los industriales en la necesidad de ahorrar energía, en primer lugar a fin de bajar costos de producción y en segundo lugar mantener una reserva de energía para un futuro.

BIBLIOGRAFIA

1. Energy conservation training program, Volumen V (Chattanooga, Tennessee, USA : 1984).
2. INE, Técnicas y análisis para conservar energía en la industria, versión preliminar (Quito : Instituto Nacional de energía (INE), 1984).
3. AEG-Telefunken, Máquinas asíncronas trifásicas (Paraninfo : Madrid, 1975).
4. Bailly Hagler & Company, Industrial energy auditing manual (Washington, DC : AID, 1984).
5. D. Montgomery, How to specify and evaluate energy-efficient motors (Tennessee : General Electric, 1981).
6. Beeman, Industrial power systems handbook (New York : McGraw-Hill, 1955).
7. Megavatios, Volumen 62 (Buenos Aires, Argentina : EDI GAR S.A., 1985).
8. Megavatios, Volumen 64 (Buenos Aires, Argentina : EDI GAR S.A., 1985).

9. Siemens, Corrección del factor de potencia (1980).
10. Gray-Wallace, Electrotecnia (Madrid : Aguilar, 1977).
11. OSRAM, Manual OSRAM (Madrid : 1975).
12. INE, Conservación energética en el sector industrial (Quito : INE, 1985).
13. R. Lascano, Análisis de plantas (Guayaquil : ESPOL, 1980).
14. Liwschitz-Garik M., Máquinas de corriente alterna (México : CECSA, 1981).
15. Helfert E., Técnicas de análisis financiero (Barcelona : Labor, 1973).
16. G. Guerrero, Evaluación de proyectos (Guayaquil : ESPOL, 1985).
17. C. Vega, Ingeniería Económica (Quito : Gráficas Media villa Hnos, 1983).