



D-10944

T
62.3126
F475

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA



BIBLIOTECA

“METODOLOGIA PARA EVALUAR LAS PERDIDAS
DE ENERGIA ELECTRICA EN INDUSTRIA”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION POTENCIA

PRESENTADA POR:
RUBEN DAVID FIGUEROA NARANJO

Guayaquil - Ecuador

1989

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

A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

Al Ing. JORGE CHIRIBOGA VASQUEZ,
Director de Tesis por su ayuda y
colaboración para la realización
de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES.

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MIS HERMANOS

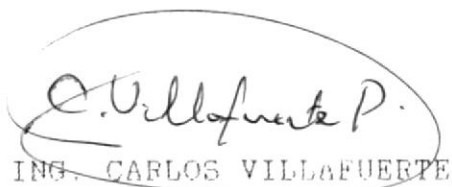
DECLARACION EXPRESA

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

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

Ruben Figueroa Naranjo

RUBEN DAVID FIGUEROA NARANJO



ING. CARLOS VILAFUERTE

Presidente del Tribunal



ING. JORGE CHIRIBOGA

Director de Tesis



ING. GUSTAVO BERMUDEZ

Miembro del Tribunal



ING. CRISTOBAL MERA

Miembro del Tribunal

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es determinar el potencial total de energía eléctrica en una industria, aplicando una metodología para evaluar los puntos donde ocurren pérdidas de energía eléctrica y donde es posible obtener mayores economías, para lo cual se utilizan reglas simples para realizar el levantamiento de dichos puntos y un método simplificado para cuantificar las cantidades que pueden ser economizadas en los puntos de consumo de energía.

Los equipos de medición instalados por las empresas eléctricas, son los patrones para el censo de la energía eléctrica, por lo cual en esta tesis los primeros dos capítulos se presentan con la finalidad de que las industrias instalen sus propios equipos de medición y puedan comparar el consumo de energía con el facturado por las empresas eléctricas.

Posteriormente se evalúan los puntos de pérdidas de energía en una industria, iniciando con un análisis del sistema tarifario, y continuar con las pérdidas que ocurren en los transformadores, circuitos de distribución, motores, iluminación y otros equipos eléctricos, para lo cual se utiliza un conjunto de cuadros que son llenados a

medida que este análisis se desarrolle.

El potencial total de economía de energía en una industria se demuestra en un último cuadro, en el que se registra los valores finales encontrados en los capítulos anteriormente analizados.

Debe recordarse que los números que son obtenidos con la aplicación de esta metodología son apenas indicativos de los resultados que puedan ser alcanzados con la implementación de un programa de economía de energía eléctrica.

Como parte final, esta metodología se aplica en una industria del país, con una implementación efectiva de las medidas aquí sugeridas, para lo cual se efectúa un análisis cuidadoso de la acción a ser implementada de modo que certifique, para este caso específico, los resultados a ser alcanzados.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XX
INTRODUCCION.....	XXV
I. CAPITULO	
SELECCIONAMIENTO ADECUADO DE EQUIPOS DE MEDICION DE ENERGIA ELECTRICA EN UNA INDUSTRIA.....	
1.1 Selección y especificación de los Transformadores de corriente.....	27
1.2 Selección y especificación de los Transformadores de potencial.....	37
1.3 Medición en baja tensión en los circuitos trifásicos de cuatro hilos.....	49
1.4 Medición en tensión media en los circuitos trifásicos.....	58
1.5 Medición en alta tensión.....	61
II. CAPITULO	
DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE CONDUCTORES SECUNDARIOS DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL.....	
2.1 Dimensionamiento adecuado de conductores	68

secundarios de los transformadores de co-	
te.	
2.1.1 Dimensionamiento de los conductores se	69
cundarios de los transformadores de co	
rriente, medición con tres elementos..	
2.1.2 Dimensionamiento de los conductores se	74
cundarios de los transformadores de co	
rriente, medición con dos elementos...	
2.2 Dimensionamiento adecuado de conductores	84
secundarios de los Transformadores de poten-	
cial.....	
2.2.1 Dimensionamiento de los conductores se	85
cundarios de los transformadores de po	
tencial, medición con tres elementos..	
2.2.2 Dimensionamiento de los conductores se	95
cundarios de los transformadores de po	
tencial, medición con dos elementos...	
 III. CAPITULO	
ANALISIS DE LAS FACTURAS DE ENERGIA ELECTRICA...	105
3.1 Sistema Tarifario.....	106
3.1.1 Análisis del consumo de electricidad..	108
3.1.2 Análisis de la demanda.....	108
3.1.3 Factor de carga.....	112
3.1.4 Factor de potencia.....	115

IV. CAPITULO	
TRANSFORMADORES.....	119
4.1 Pérdidas de hierro.....	120
4.2 Pérdidas de cobre.....	126
4.3 Pérdidas en transformadores conectados en pa- ralelo.....	132
V. CAPITULO	
CIRCUITOS DE DISTRIBUCION.....	137
5.1 Utilización de nivel de tensión adecuado....	137
5.2 Localización de Transformadores.....	145
5.3 Dimensionamiento adecuado de conductores....	149
VI. CAPITULO	
MOTORES.....	154
6.1 Dimensionamiento de motores.....	154
6.2 Utilización racional de equipos.....	179
VII. CAPITULO	
ILUMINACION.....	183
7.1 Utilización de iluminación eficiente.....	183
7.1.1 Situación actual de iluminación exis- te.	184
7.1.2 Sistema de iluminación mas eficiente..	187
7.1.3 Potencial de Economía de Energía con eficiencia.....	197
7.2 Administración del sistema de iluminación...	200

	en cuenta el tipo de consumidor.
	de un transformador de corriente teniendo
264	ANEXO A : Elección de la corriente primaria nominal
263	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....
242	APLICACION PRACTICA.....
239	POTENCIAL TOTAL DE ECONOMIA.....
	IX. CAPITULO
	de no utilización.....
235	8.4 Desconexión de equipos eléctricos en horas
	energía.....
232	8.3 Programación de trabajo para economía de
	zados.....
228	8.2 Adecuación de niveles de temperatura utili-
213	8.1 Mejoría de aislamiento térmico.....
212	OTROS EQUIPOS ELECTRICOS.....
	VIII. CAPITULO
	minación.....
208	7.2.4 Individualización del comando de ilu-
	de no utilización.....
207	7.2.3 Desconexión de iluminación en horas
	nocturno.....
204	7.2.2 Cambio en la ejecución de limpieza
201	7.2.1 Reducción de iluminación.....

Pag.

ANEXO B : Pliego tarifario aplicado a usuarios indus- 270
triales.....
ANEXO C : Mejoramiento del Factor de Potencia..... 277
BIBLIOGRAFIA..... 289

INDICE DE FIGURAS

No	Pag.
1.1 Diagrama fasorial del transformador de corriente.	
1.2 Transformadores de corriente. Limites de clase de excitación 0.3 (con 100 % y 10 % de la corriente nominal).	
1.3 Clasificación de los transformadores de corriente de acuerdo al tipo.	
1.4 Transformador de corriente con dos derivaciones en el secundario.	
1.5 Diagrama de conexión de un transformador de potencial, con dos derivaciones en el secundario.	
1.6 Diagrama fasorial del transformador de potencial	
1.7 Transformadores de potencial. Limites de las clases de excitación = 0.3 - 0.6 - 1.2.	
1.8 Esquema de medición directa en baja tensión con medidor de dos elementos y medio, con conexión estrella.	
1.9 Esquema de medición indirecta en baja tensión con medidor de dos elementos y medio, con conexión estrella.	
1.10 Esquema de medición directa en baja tensión con medidor de dos elementos y medio, con conexión	



412.



BIBLIOTECA

No

Pag.

triángulo.

- 1.11 Esquema de medición indirecta en baja tensión con medidor de dos elementos y medio, con conexión triángulo.
- 1.12 Esquema de medición directa en baja tensión con medidor de tres elementos.
- 1.13 Esquema de medición indirecta en baja tensión con medidor de tres elementos.
- 1.14 Esquema de medición indirecta en media tensión con medidor de dos elementos.
- 1.15 Esquema de medición indirecta en media tensión con medidor de dos elementos y medio, con conexión estrella.
- 1.16 Esquema de medición indirecta en media tensión con medidor de tres elementos, con conexión estrella.
- 1.17 Esquema de medición indirecta en alta tensión con medidor de dos elementos (dos TC y tres TP).
- 2.1 Circuito de corriente de la medición con tres elementos, tres transformadores de corriente.
- 2.2 Diagrama fasorial de tensión en los circuitos de corriente, medición con tres elementos (circuito equilibrado).



No	Pag.
2.3	Diagrama fasorial de tensión en los circuitos de corriente, medición con tres elementos (circuito desequilibrado).
2.4	Circuito de corriente de la medición con dos elementos, dos transformadores de corriente.
2.5	Diagrama fasorial de corriente en medición con con dos elementos, conductor de retorno común.
2.6	Diagrama fasorial de tensión en los circuitos de corriente, medición con dos elementos, conductor de retorno común (cálculo de r_m).
2.7	Diagrama fasorial de tensión en los circuitos de corriente, medición con dos elementos, dos conductores de retorno en paralelo (cálculo de r_m')
2.8	Circuito de corriente de la medición en media y alta tensión, dos elementos, dos transformadores de corriente, conductor de retorno separado.
2.9	Diagrama fasorial de tensión en los circuitos de corriente, medición con dos elementos, conductor de retorno separado.
2.10	Circuito de corriente en medidores de KWH y KVARH con tres elementos, tres transformadores de potencial, un autotransformador desfasador.
2.11	Diagrama fasorial de tensión en la medición con tres elementos.
2.12	Circuito independiente de corriente del auto-

No	Pag.
	transformador desfasador (tres TP).
2.13	Diagrama fasorial del autotransformador desfasador (tres TP).
2.14	Circuito independiente de corriente del medidor de KVARH y del autotransformador desfasador (tres TP).
2.15	Diagrama fasorial de corriente en conductores utilizados para medición con tres elementos, tres transformadores de potencial, un autotransformador desfasador.
2.16	Diagrama fasorial de tensión en primer transformador de potencial (tres TP).
2.17	Diagrama fasorial de tensión en tercer transformador de potencial (tres TP).
2.18	Circuito de corriente en el medidor de KVARH de dos elementos, dos transformadores de potencial.
2.19	Diagrama fasorial en la medición con dos elementos (medidores de KWH y KVARH).
2.20	Diagrama fasorial de corriente en conductores utilizados para la medición con dos elementos (medidores de KWH y KVARH).
2.21	Circuito de corriente en medidores de KWH y KVARH con dos elementos, dos transformadores de potencial, un autotransformador desfasador.

No	Pag.
2.22	Circuito independiente de corriente del auto-transformador desfasador (dos TP).
2.23	Circuito independiente de corriente del medidor de KVARH y del autotransformador desfasador (dos TP).
2.24	Diagrama fasorial de corriente en conductores utilizados para medición con dos elementos (medidor de KWH y KVARH, autotransformador; dos TP)
5.1	Pérdidas en conductores por Efecto Joule (Rango 10 - 150 Amperios).
5.2	Pérdidas en conductores por Efecto Joule (Rango 160 - 285 Amperios).
5.3	Pérdidas en conductores por Efecto Joule (Rango 280 - 500 Amperios).
6.1	Curva característica del motor en función de la carga (5 HP, 220 Voltios).
6.2	Curva característica del motor en función de la carga (7,5 HP, 220 Voltios).
6.3	Curva característica del motor en función de la carga (10 HP, 220 Voltios).
6.4	Curva característica del motor en función de la carga (15 HP, 220 Voltios).
6.5	Curva característica del motor en función de la carga (20 HP, 220 Voltios).

No	Pag.
6.6	Curva característica del motor en función de la carga (25 HP, 220 Voltios).
6.7	Curva característica del motor en función de la carga (30 HP, 220 Voltios).
6.8	Curva característica del motor en función de la carga (40 HP, 220 Voltios).
6.9	Curva característica del motor en función de la carga (50 HP, 220 Voltios).
6.10	Curva característica del motor en función de la carga (60 HP, 220 Voltios).
6.11	Curva característica del motor en función de la carga (75 HP, 220 Voltios).
6.12	Curva característica del motor en función de la carga (100 HP, 220 Voltios).
6.13	Curva característica del motor en función de la carga (150 HP, 220 Voltios).
6.14	Curva caracteròstica del motor en función de la carga (175 HP, 220 Voltios).
6.15	Curva característica del motor en función de la carga (200 HP, 220 Voltios).
6.16	Curva característica del motor en función de la carga (250 HP, 220 Voltios).
8.1	Abaco de Wrede.

No

Pag.

C.1 Desfaseamiento entre corriente y voltaje en un capacitor.

C.2 Motor de inducción sin capacitor

C.3 Motor de inducción con capacitor.

INDICE DE TABLAS

No .	Pag.
I.	Corrientes primarias nominales y relaciones nominales para transformadores de corriente.
II.	Aplicación de los transformadores de corriente de acuerdo a la excitación.
III.	Cargas nominales normalizadas para prueba de los transformadores de corriente.
IV.	Tensiones máximas de operación de los transformadores de corriente y potencial.
V.	Rango de las pérdidas de la bobina de corriente de algunos instrumentos eléctricos empleados con transformadores de corriente, 5 A., 60 Hz.
VI.	Aplicación de los transformadores de potencial de acuerdo a la excitación.
VII.	Cargas nominales normalizadas para pruebas de los transformadores de potencia.
VIII.	Tensiones primarias nominales y relaciones nominales para transformadores de potencial.
IX.	Rango de las pérdidas de bobinas de potencial de algunos instrumentos eléctricos

No	Pag.
	empleados con transformadores de potencial, 115 Voltios , 60 Hz.
X.	Condiciones actuales de consumo de energia eléctrica.
XI.	Potencial de reducci3n de demanda.
XII.	Potencial de reducci3n de demanda con la mejora del factor de carga.
XIII.	Potencial de economia debido al ajuste por bajo factor de potencia.
XIV.	Caracteristicas nominales de los transformadores.
XV.	P3rdidas en transformadores conforme normas ABNT.
XVI.	Potencial de economia de energia desconectando transformadores.
XVII.	Potencial de economia de energia en las p3rdidas de cobre.
XVIII.	Potencial de economia de energia en transformadores conectados en paralelos.
XIX.	Potencial de economia de energia mejorando el nivel de tensi3n.
XX.	Potencial de economia de energia reubicando los transformadores.

No	Pag.
XXI.	Potencial de economía de energía con el dimensionamiento adecuado de los conductores.
XXII.	Uso actual de los motores instalados.
XXIII.	Determinación de las características de los nuevos motores escogidos.
XXIV.	Dimensionamiento adecuado de motores.
XXV.	Utilización racional de motores.
XXVI.	Pérdidas en balastos de lámparas de descarga conforme normas ABNT.
XXVII.	Situación actual del sistema de iluminación.
XXVIII.	Iluminancias para cada grupo de tareas visuales.
XXIX.	Factores determinantes de la iluminancia adecuada.
XXX.	Iluminación más eficiente.
XXXI.	Tipo de lámpara en función de la actividad en el local de trabajo.
XXXII.	Luminarias con buena eficiencia.
XXXIII.	Factores de depreciación.
XXXIV.	Potencial de economía de energía con iluminación eficiente.
XXXV.	Reducción de iluminación.

No	Pag.
XXXVI.	Cambio en la ejecución de limpieza nocturna.
XXXVII.	Desconexión de iluminación en horas de no utilización.
XXXVIII.	Individualización de comandos de iluminación.
XXXIX.	Pérdidas actuales de equipos eléctricos.
XL.	Pérdidas actuales de las tabulaciones.
XLI.	Coefficiente de conductibilidad térmica para diversos aislantes térmicos.
XLII.	Nuevas pérdidas con mejor aislamiento térmico de los equipos eléctricos.
XLIII.	Nuevas pérdidas con mejor aislamiento térmico de las tabulaciones.
XLIV.	Potencial de economía de energía eléctrica con la mejora de aislamiento térmico en equipos eléctricos.
XLV.	Potencial de economía de energía eléctrica con la mejora de aislamiento térmico en las tabulaciones.
XLVI.	Potencial de economía de energía eléctrica con adecuados niveles de temperatura.
XLVII.	Potencial de economía de energía eléctrica con una adecuada programación de trabajo

No	Pag.
	de los equipos eléctricos.
XLVIII.	Potencial de economía de energía eléctrica en horas de no utilización de equipos eléctricos.
IL.	Potencial total de economía.
L.	Factor de potencia de los motores a carga parcial de la potencia nominal, 220 - 440 voltios, 3 fases, 60 ciclos, Motores de inducción jaula de ardilla (1 - 200 HP).
LI.	Máximos KVARs requeridos cuando el motor y el capacitor se instalan como una unidad.
LII.	Cables, fusibles e interruptores recomendados para la instalación de capacitores individuales.
LIII.	Cables, fusibles e interruptores recomendados para la instalación de capacitores en banco.

INTRODUCCION

El déficit energético mundial, causado por el crecimiento en la demanda de combustibles y el agotamiento de las existencias explotables del mismo, creó la necesidad de implementar políticas de conservación de energía en todos los países. Para acometer esa tarea se han desarrollado diferentes tipos de campaña, una de las cuales se fundamenta en utilizar eficiente y racionalmente la energía eléctrica, de modo de evitar su desperdicio.

Para implementar un programa de racionalización del uso de la electricidad en una industria, es muy importante conocer las aplicaciones de los equipos que consumen esta forma de energía. Luego de estas informaciones se debe procurar identificar los puntos donde ocurren pérdidas de energía eléctrica y donde es posible obtener mayores economías con la implementación de un programa de acción de esta naturaleza.

Dependiendo de la industria, el potencial de economía en cada punto del sistema eléctrico puede ser bastante diferente. En cada uno de estos puntos se desarrollan reglas simples para el análisis y una sistemática de cálculo del potencial de economía de electricidad, con el fin de

estimar de manera rápida y fácil, la cantidad de energía que se consume innecesariamente en una industria.

CAPITULO 1

SELECCIONAMIENTO ADECUADO DE EQUIPOS DE MEDICION DE ENERGIA ELECTRICA EN UNA INDUSTRIA.

En este capitulo se trata la forma de seleccionar correctamente los equipos de medición de energía eléctrica, con la finalidad de comparar la energía facturada, por las empresas eléctricas, a las industrias.

1.1 Selección y especificación de los Transformadores de Corriente.

Los transformadores de corriente (TC) son protegidos y construidos para una corriente secundaria nominal normalizada en 5 Amperios, siendo la corriente primaria nominal establecida de acuerdo con la magnitud de la corriente del circuito en que el transformador de corriente es conectado (Ver ANEXO A).

La TABLA I muestra las corrientes primarias nominales y las relaciones normalizadas por la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para los transformadores de corriente fabricados normalmente. Los trans-

CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL (A)	RELACION NOMINAL	CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL (A)	RELACION NOMINAL	CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL (A)	RELACION NOMINAL
5	1:1	100	20:1	1.000	200:1
10	2:1	125	25:1	1.200	240:1
15	3:1	150	30:1	1.500	300:1
20	4:1	200	40:1	2.000	400:1
25	5:1	250	50:1	2.500	500:1
30	6:1	300	60:1	3.000	600:1
40	8:1	400	80:1	4.000	800:1
50	10:1	500	100:1	5.000	1.000:1
60	12:1	600	120:1	6.000	1.200:1
75	15:1	800	160:1	8.000	1.600:1

TABLA I.
CORRIENTES PRIMARIAS NOMINALES Y RELACIONES NOMINALES
PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

formadores de corriente pueden soportar , en régimen permanente, una corriente mayor de la nominal (corriente máxima que puede soportar un transformador de corriente), sin que ningún daño les sea causado, y funcionar casi en corto circuito, debido a que son empleados para alimentar instrumentos eléctricos de baja impedancia.

De la Figura 1.1 podemos observar que los errores de relación y de fase en un transformador de corriente varían con la corriente primaria y con el tipo de carga colocada en su secundario, además de sufrir influencia también las variaciones de frecuencia y de forma de onda, las cuales son prácticamente invariables en los sistemas eléctricos actuales.

De acuerdo a normas, para la medición de energía eléctrica en una fábrica se utilizan transformadores de corriente con una clase de excitación de 0,3. (Ver Figura 1.2 y TABLA II).

Las cargas normalizadas para pruebas en los transformadores de corriente, obedeciendo las especificaciones de American National Standard Institute (ANSI) y ABNT, están relacionadas en la TABLA III.

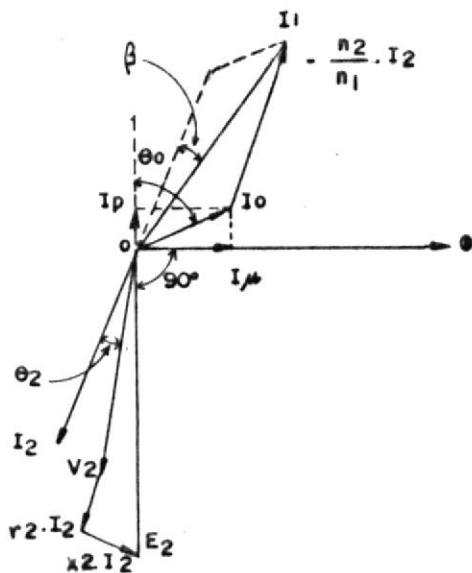


FIG. N° 1.1

DIAGRAMA FASORIAL DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

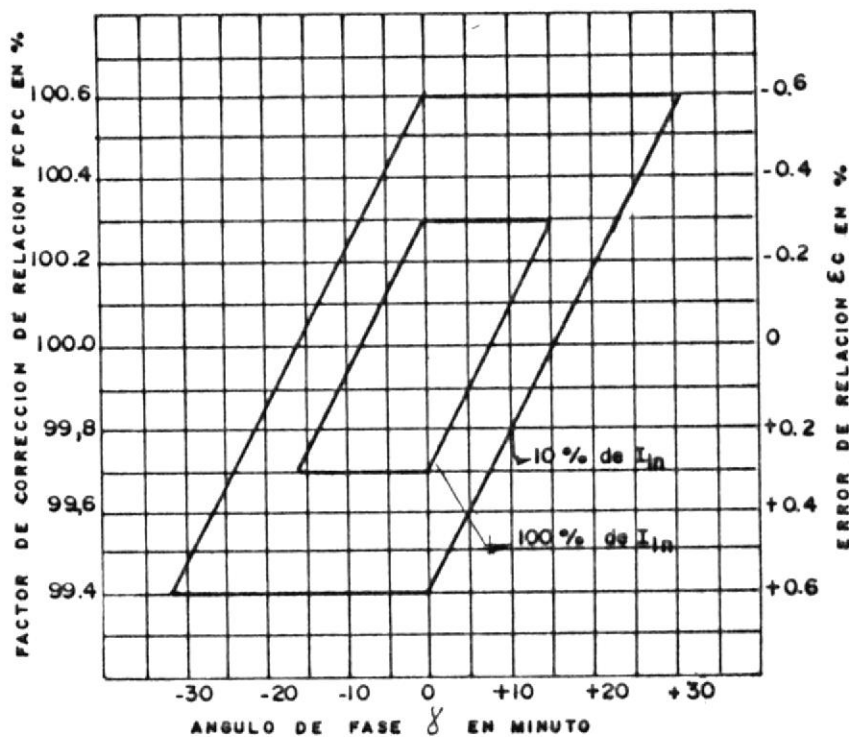


FIG. N° 1.2

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE
 LIMITES DE CLASE DE EXCITACION 0.3 (CON 100% Y 10% DE LA CORRIENTE NOMINAL)

CLASES DE EXCITACION	APLICACION
Menor de 0,3	<ul style="list-style-type: none"> - Transformador de Corriente Patrón - Mediciones en Laboratorios - Mediciones Especiales
0,3	- Medición de Energía Eléctrica para Facturamiento a Consumidor
0,6 Hasta 1,2	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de Energía Eléctrica sin Finalidad de Facturamiento - Alimentación de Instrumentos de Control: <ul style="list-style-type: none"> - Amperímetro - Voltmetro - Variómetro

TABLA II
APLICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE ACUERDO A LA EXCITACION

CARGAS NOMINALES				CARACTERISTICAS A 60 HZ Y 5 A		
DESIGNACION ABNT	DESIGNACION ANSI	POTENCIA APARENTE (VA)	FACTOR DE POTENCIA	RESISTENCIA (Ω)	INDUCTANCIA (mH)	IMPEDANCIA (Ω)
(1)	(1a)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
C 2,5	B-0,1	2,5	0,90	0,09	0,116	0,1
C 5,0	B-0,2	5,0	0,90	0,18	0,232	0,2
C12,5	B-0,5	12,5	0,90	0,45	0,580	0,5
C 25	B-1	25	0,50	0,50	2,3	1,0
C 50	B-2	50	0,50	1,0	4,6	2,0
C100	B-4	100	0,50	2,0	9,2	4,0
C 200	B-8	200	0,50	4,0	18,4	8,0

TABLA III
CARGAS NOMINALES NORMALIZADAS PARA PRUEBAS DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

La corriente primaria máxima que un transformador de corriente es capaz de conducir en régimen permanente, bajo frecuencia nominal, sin exceder los límites de elevación de temperatura especificados y sin caer fuera de su clase de excitación, se determina multiplicando la corriente nominal por el factor térmico.

El nivel de aislamiento del transformador de corriente se define en términos de la tensión que puede soportar. En la práctica, su tensión máxima de operación se considera inmediatamente superior a la tensión del circuito en que el transformador es utilizado. (Ver TABLA IV).

La mayor corriente primaria que un transformador de corriente es capaz de soportar durante un segundo, con la bobina cortocircuitada, sin exceder, en cualquier bobina, la temperatura máxima especificada, se determina con la corriente térmica nominal.

La corriente dinámica nominal, es el valor de cresta de la corriente primaria de un transformador de corriente, capaz de soportar durante el primer medio ciclo, con la bobina secundaria cortocircuitado, sin daños eléctricos ó mecánicos resultantes por las fuerzas electromagnéticas.

KV
0,6
1,2
7,2
12
15
25,8
38
48,3
72,5
92,4
145
169
242
362
460
550
765

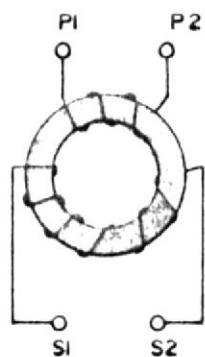
TABLA IV
TENSIONES MAXIMAS DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES
DE CORRIENTE Y POTENCIAL

De acuerdo a la disposición de los arrollamientos y del núcleo, los transformadores de corriente que se aplican para mediciones (Figura 1.3), pueden ser clasificados en 5 tipos:

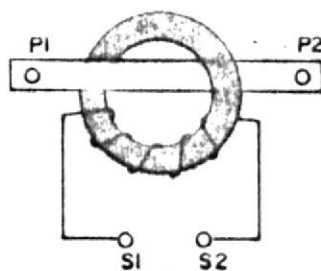
- 1) Transformador de corriente tipo bobina
- 2) Transformador de corriente tipo barra
- 3) Transformador de corriente tipo agujero
- 4) Transformador de corriente tipo tapón
- 5) Transformador de corriente de núcleo dividido

En la práctica, es muy usado los transformadores de corriente con derivaciones en el secundario, donde el primario tiene un número fijo de N espiras y el secundario tiene dos derivaciones que permiten utilizar el transformador de corriente como 50/5 Amperios o como 100/5 Amperios, según la Figura 1.4, donde la clase de excitación especificada por el comprador es garantizada por el fabricante solo con el funcionamiento del mayor número de espiras.

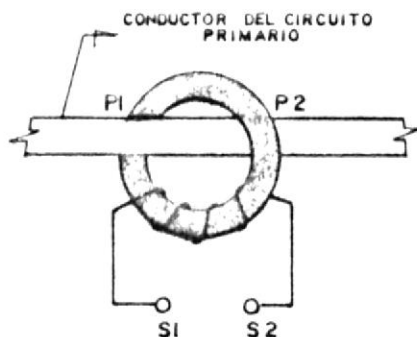
La carga nominal del transformador de corriente, es establecida teniendo en cuenta las características (en términos de pérdidas eléctricas internas) de los instrumentos eléctricos que son conectados en el secundario, características normalmente suministra



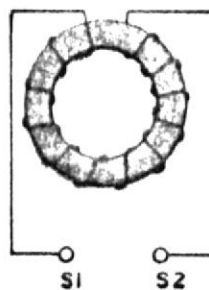
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TIPO BOBINA



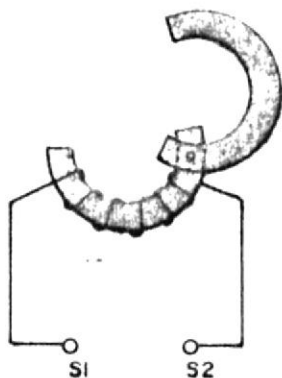
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TIPO BARRA



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TIPO AGUJERO



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TIPO TAPON



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TIPO NUCLEO DIVIDIDO

FIG. N°1.3.

CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE ACUERDO AL TIPO

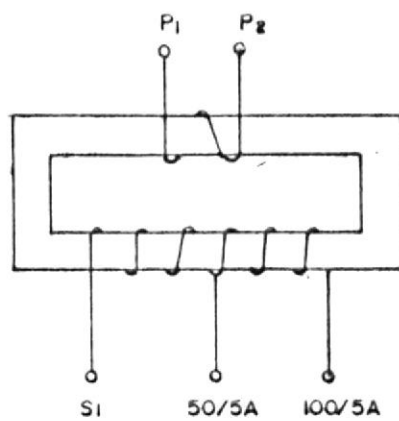


FIG. N°1.4 .

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE CON DOS DERIVACIONES EN EL SECUNDARIO

das por los fabricantes, ó que pueden ser determinadas en el laboratorio a través de pruebas apropiadas (condiciones nominales).

En la TABLA V, se puede observar el rango de las pérdidas de la bobina de corriente de algunos instrumentos eléctricos utilizados con los transformadores de corriente, en condiciones de 5 Amperios, 60 Hertz.

Conviene conocer que la ABNT establece, que para la bobina de corriente de los medidores de energía eléctrica, las pérdidas no deben exceder 2,0 Vatios y 2,5 Voltio Amperios.

1.2 Selección y especificación de los Transformadores de Potencial.

Los transformadores de potencial son protegidos y construidos para una tensión secundaria nominal normalizada en 115 voltios, siendo la tensión primaria establecida de acuerdo con la tensión entre las fases del circuito en que va a ser conectado. Los transformadores que son conectados entre fase y neutro son construidos para tener como tensión primaria nominal la tensión entre las fases del circuito dividida para $\sqrt{3}$, y como tensión secundaria nominal $115/\sqrt{3}$ voltios

INSTRUMENTOS	VOLTIO-AMPERIOS (VA)	VATIOS (W)	VOLTIO-AMPERIOS REACTIVOS (Var)
Medidor de KWH.	0,7 a 2,0	0,5 a 1,6	0,4 a 1,5
Medidor de KVARH.	0,7 a 2,0	0,5 a 1,6	0,4 a 1,5
Vatímetro	1,0 a 2,5	0,5 a 0,7	0,9 a 2,4
Variómetro	1,0 a 2,5	0,5 a 0,7	0,9 a 2,4
Amparímetro	1,2 a 3,0	1,0 a 1,5	0,9 a 2,5
Fasímetro	2,5 a 3,6	2,2 a 2,6	1,0 a 2,5
Relés	8,0 a 15	2,0 a 4,0	8,0 a 14,9

TABLA V

RANGO DE LAS PERDIDAS DE LA BOBINA DE CORRIENTE DE ALGUNOS INSTRUMENTOS ELECTRICOS EMPLEADOS CON TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. 5 A , 60 HZ

o 115 voltios aproximadamente, pudiendo tener estas dos posibilidades de tensiones al mismo tiempo, por medio de una derivación, tal como lo muestra la Figura 1.5.

Los Transformadores de potencial llegan a soportar sobretensiones de hasta 10% en régimen permanente, sin causarle ningún daño y funcionar casi en vacío, ya que su corriente secundaria es muy pequeña debido que son empleados para alimentar instrumentos de alta impedancia, tales como las bobinas de potencial de medidores de energía eléctrica.

De la Figura 1.6 se puede observar que para un mismo transformador de potencial, aplicado a una tensión primaria V_1 , los errores de relación y de fase varían con el tipo de carga utilizada en su secundario, esto es, ellos son función de I_2 y θ_2 . Es aconsejable en la práctica que estos errores sean lo menor posible.

De acuerdo con las normas C57.13 de ANSI y EB-251.1 de ABNT para la medición de energía eléctrica en una fábrica se utilizan transformadores de potencial con clase de excitación de 0,3 (Ver Figura 1.7 y TABLA VI).

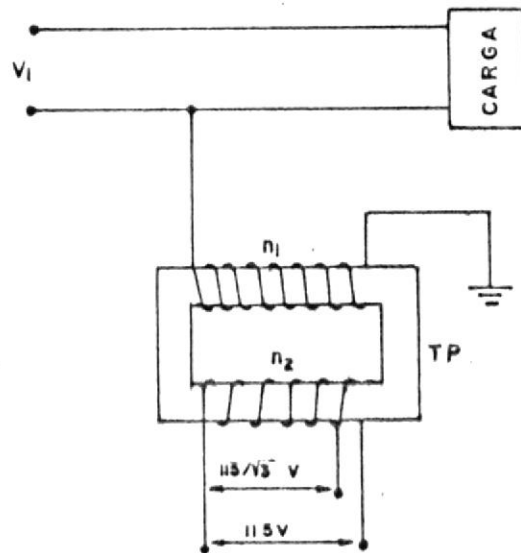


FIG. N°1,5.

DIAGRAMA DE CONEXION DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
 CON DOS DERIVACIONES EN EL SECUNDARIO

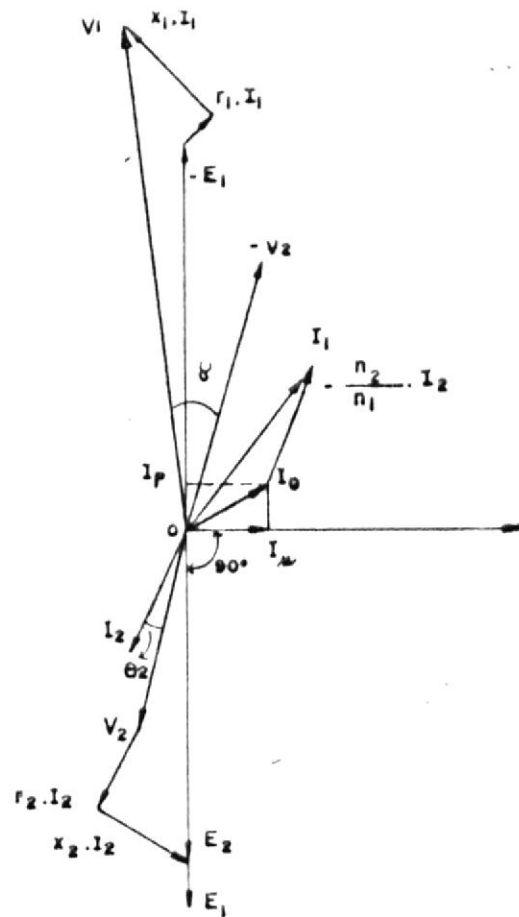


FIG. N° 1.6

DIAGRAMA FASORIAL DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

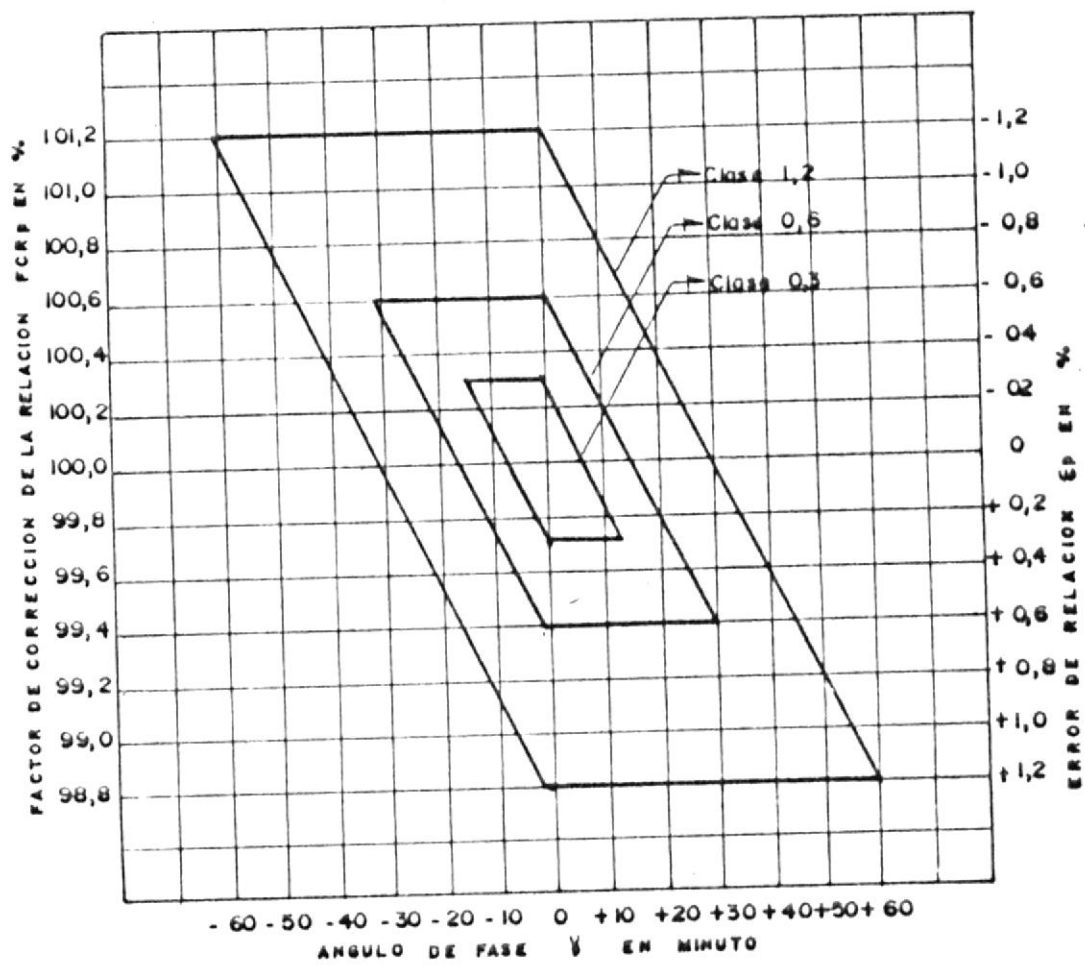


FIG. N°1.7
 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL
 LIMITES DE LAS CLASES DE EXCITACION = 03-06-1.2

CLASE DE EXCITACION	APLICACION
Menor de 0,3	<ul style="list-style-type: none"> - Transformador de Potencial Patrón - Mediciones en Laboratorio - Mediciones Especiales
0,3	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de Energía Eléctrica para Facturamiento a Consumidor
0,6 Hasta 1,2	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de Energía Eléctrica sin Finalidad de Facturamiento - Alimentación de Relés - Alimentación de Instrumentos de Control: - Voltímetro - Varímetro - Variómetro - Factor de Potencia. - Sincronoscópio

TABLA VI
APLICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL DE ACUENHO
A LA EXCITACION

Las cargas normalizadas para pruebas en los transformadores de potencial, obedeciendo la especificación de la ANSI y ABNT, están relacionadas en la TABLA VII.

La mayor potencia aparente que un transformador de potencial puede suministrar en régimen permanente, bajo tensión y frecuencia nominal, sin exceder los límites de elevación de temperatura especificadas, se determina por medio de la potencia térmica. Estos límites de elevación de temperatura están fijados en una norma específica, llevando en consideración los diferentes tipos de los materiales aislantes en los transformadores de potencial, la misma que establece:

- 1) Para los transformadores de potencial pertenecientes a los grupos de conexión 1 y 2 (Ver Tabla VIII), la potencia térmica nominal no debe ser inferior a 1,33 veces la carga más alta en voltio-amperios, referente a la excitación del transformador de potencial.
- 2) Para los transformadores de potencial pertenecientes al grupo de conexión 3 (Ver Tabla VIII), la potencia térmica nominal no debe ser inferior a 3,6 veces la carga más alta en voltio-amperios,

CARGAS NOMINALES				CARACTERISTICA A 60 Hz y 120 V			CARACTERISTICAS a 60 Hz Y 69,3V (120/ $\sqrt{3}$ V)		
DESIGNACION ABNT	DESIGNACION ANSI	POTENCIA APARENTE	FACTOR DE POTENCIA	RESISTENCIA (Ω)	INDUCTANCIA (mH)	IMPEDANCIA (Ω)	RESISTENCIA (Ω)	INDUCTANCIA (mH)	IMPEDANCIA (Ω)
(1)	(1a)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
P 12,5	W	12,5	0,10	115,2	3 042	115 2	38,4	1014	38 4
P 25	X	25	0,70	403,2	1092	576	134,4	364	192
P 75	Y	75	0,85	163,2	268	192	54,4	89,4	64
P 200	Z	200	0,85	61,2	101	72	20,4	33,6	24
P 400	ZZ	400	0,85	30,6	50,4	36	10,2	16,8	12

NOTA: LAS CARACTERISTICAS A 60 Hz y 120V SON VALIDAS PARA TENSIONES SECUNDARIAS ENTRE 100 Y 130V Y LAS CARACTERISTICAS A 60 Hz Y 69,3V SON VALIDOS PARA TENSIONES SECUNDARIAS ENTRE 58 Y 75 V. EN TALES CONDICIONES LAS POTENCIAS APARENTES SON DIFERENTES DE LAS ESPECIFICADAS.

TABLA VII

CARGAS NOMINALES NORMALIZADAS PARA PRUEBAS DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

GRUPO 1 PARA CONEXION DE FASE Y FASE		GRUPO 2 Y 3 PARA CONEXION DE FASE Y NEUTRO		
TENSION PRIMARIA NOMINAL (V)	RELACION-NOMINAL	TENSION PRIMARIA NOMINAL (V)	RELACIONES NOMINALES	
			TENSION SECUNDARIA DE $115/\sqrt{3}$ V	TENSION SECUNDARIA APROX. 115 V
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
115	1:1	-	-	-
230	2:1	$230/\sqrt{3}$	2:1	1,2:1
402,5	3,5:1	$402,5/\sqrt{3}$	3,5:1	2:1
460	4:1	$460/\sqrt{3}$	4:1	2,4:1
575	5:1	$575/\sqrt{3}$	5:1	3:1
2.300	20:1	$2.300/\sqrt{3}$	20:1	12:1
3.450	30:1	$3.450/\sqrt{3}$	30:1	17,5:1
4.025	35:1	$4.025/\sqrt{3}$	35:1	20:1
4.600	40:1	$4.600/\sqrt{3}$	40:1	24:1
6.900	60:1	$6.900/\sqrt{3}$	60:1	35:1
8.050	70:1	$8.050/\sqrt{3}$	70:1	40:1
11.500	100:1	$11.500/\sqrt{3}$	100:1	60:1
13.800	120:1	$13.800/\sqrt{3}$	120:1	70:1
23.000	200:1	$23.000/\sqrt{3}$	200:1	120:1
34.500	300:1	$34.500/\sqrt{3}$	300:1	175:1
46.000	400:1	$46.000/\sqrt{3}$	400:1	240:1
69.000	600:1	$69.000/\sqrt{3}$	600:1	350:1
-	-	$88.000/\sqrt{3}$	800:1	480:1
-	-	$115.000/\sqrt{3}$	1.000:1	600:1
-	-	$138.000/\sqrt{3}$	1.200:1	700:1
-	-	$161.000/\sqrt{3}$	1.400:1	800:1
-	-	$196.000/\sqrt{3}$	1.700:1	1.000:1
-	-	$230.000/\sqrt{3}$	2.000:1	1.200:1

NOTA: 1°) Las Relaciones Nominales de TP's, con Tensiones Primarias Nominales Superiores a 230KV, están sujetas de acuerdo entre Fabricante y Comprador.

2°) -a) Grupo 1: TP para conexión entre fases
 -b) Grupo 2: TP para conexión entre Fase y Neutro de Sistemas Directamente o Eficazmente Aterrizados
 -c) Grupo 3: TP para conexión entre Fase y Neutro de Sistemas donde no se Garantiza la Eficacia de Aterrizamiento

TABLA VIII

TENSIONES PRIMARIAS NOMINALES Y RELACIONES NOMINALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

referente a la excitación del transformador de potencial.

El nivel de aislamiento de los transformadores de potencial, se especifica en términos de la tensión máxima que puede soportar. En la práctica, su tensión máxima de operación, se considera inmediatamente superior a la tensión del circuito en que el transformador de potencial es utilizado. (Ver TABLA IV).

La potencia nominal del transformador de potencial es establecida teniendo en cuenta las características (en términos de pérdidas eléctricas internas) de los instrumentos eléctricos que están conectados en el secundario, características que normalmente son suministradas por los fabricantes o pueden ser determinadas en un laboratorio a través de ensayos apropiados (condiciones nominales).

En la TABLA IX, se puede observar el rango de pérdidas de la bobina de potencial de algunos instrumentos eléctricos utilizados con los transformadores de potencial, en condiciones de 115 Voltios, 60 Hertz. Conviene conocer, que la ABNT establece, que para la bobina de potencial de los medidores de energía eléc-

INSTRUMENTO	VOLTIO - AMPERIO (VA)	VATIOS (W)	VOLTIO - AMPERIO REACTIVO
Medidor de KWH	5 a 8	1,0 a 2	4,5 a 7,9
Medidor de KVARH	5 a 8	1,8 a 3	4,5 a 7,7
Vatímetro	2 a 4	2 a 4	0 a 0,9
Variómetro	2 a 4	2 a 4	0 a 0,9
Motor de Conjunto de Demanda	2,6 a 3	1,6 a 2,2	1,8 a 2,4
Autotransformador de Defasamiento	9 a 13	2,3 a 3	8,5 a 13
Voltímetro	4 a 7	4 a 7	0 a 0,9
Frecuencímetro	3 a 5	3 a 5	0 a 3
Fasímetro (F. P.)	4 a 6	4 a 5	0 a 3
Sinocronoscopio	5 a 6	4 a 6	0 a 3
Relés	16 a 50	11 a 30	11 a 40

TABLA IX.

RANGO DE LAS PERDIDAS DE BOBINAS DE POTENCIAL DE ALGUNOS INSTRUMENTOS ELECTRICOS EMPLEADOS CON TRANSFORMADORES DE POTENCIAL 115V- 60 HZ

trica, las pérdidas no debe exceder 2 Vatios y 8 Voltio Amperios.

1.3 Medición en baja tensión en los circuitos trifásicos de cuatro hilos.

Los consumidores industriales con potencia eléctrica instalada hasta 45 KW, son alimentados a través de circuitos trifásicos con cuatro hilos, tres fases y un neutro, siendo la correspondiente medición de energía eléctrica hecha por medio de un medidor trifásico de tres ó de dos y medio elementos, cuatro hilos, conectados en triángulo ó estrella, llamandose medición directa en baja tensión.

Este tipo de medición es también aplicada, en el lado de baja tensión, para los consumidores industriales, alimentados en 13.8 KV. con transformadores propios hasta 250 KVA, en cuyo caso este medidor puede estar provisto de un dispositivo de demanda máxima, denominandose medición indirecta en baja tensión.

Los límites de la potencia instalada para fin de la elección del tipo de medidor con ó sin demanda no son rígidos, ya que estos varían de acuerdo a la empresa

eléctrica, quienes pueden adoptar la mejor sistemática que mejor les convenga.

Para la medición en baja tensión, no es necesario utilizar los transformadores de potencial, por lo cual las bobinas de potencial del medidor están especificadas para soportar la tensión entre fase y neutro a que son conectadas al circuito.

A) Medidor de dos y medio elementos.

Estos medidores son fabricados para medición directa (sin empleo de los transformadores de corriente), como también para medición indirecta, esto es con empleo de los transformadores de corriente. Se ha constatado en la práctica que, para desequilibrios entre las tensiones alrededor de 2% a 3%, el error en la indicación del medidor se encuentra en el error permitido por las normas técnicas. Por lo tanto se aconseja que este medidor sea solamente empleado en la salida de baja tensión de los transformadores, ya que mientras más alejado está del transformador mayor es el desbalanceamiento de las tensiones y mayor es el error.

Los argumentos de las empresas eléctricas que utilizan estos medidores es su costo, ya que normalmente su precio es inferior al precio del medidor de tres elementos que sería empleado en las mismas condiciones.

Las Figuras 1.8, 1.9, 1.10 y 1.11 representan el esquema de medición directa e indirecta con un medidor de dos elementos y medio, para conexiones en estrella y en triángulo, respectivamente.

B) Medidor de tres elementos.

Este tipo de medidor es fabricado tanto para medición sin empleo de los transformadores de corriente, como también con empleo de los transformadores de corriente, y es utilizado tanto para sistemas balanceados como para sistemas desbalanceados.

Estos medidores cumplen con el teorema de Blondel's que dice: En sistemas polifásicos de "N" conductores, medidores con N-1 elementos correctamente conectados sirven para medir la energía o potencia suministrada en las industrias.

Las Figuras 1.12 y 1.13, representan los esquemas para medición directa e indirecta con un medidor

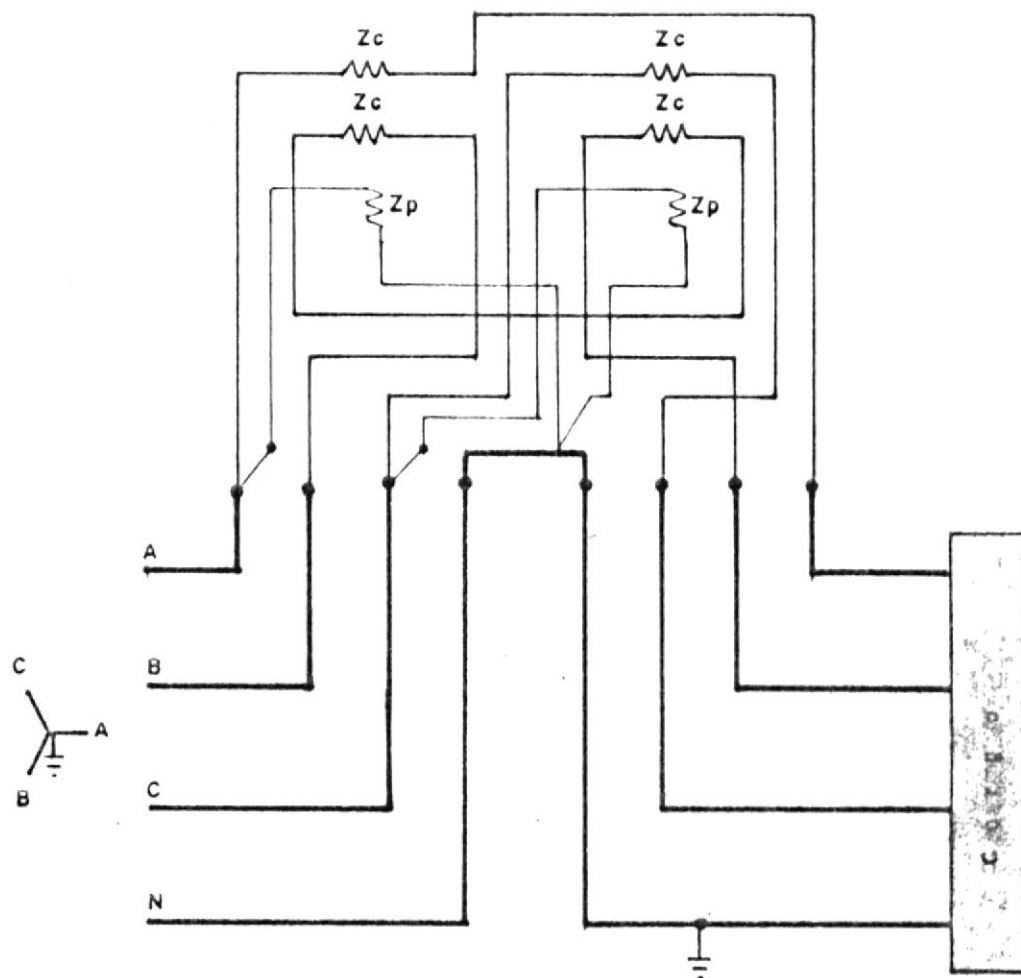


FIG. N.º 1.8

ESQUEMA DE MEDICION DIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR
DE DOS ELEMENTOS Y MEDIO, CON CONEXION ESTRELLA

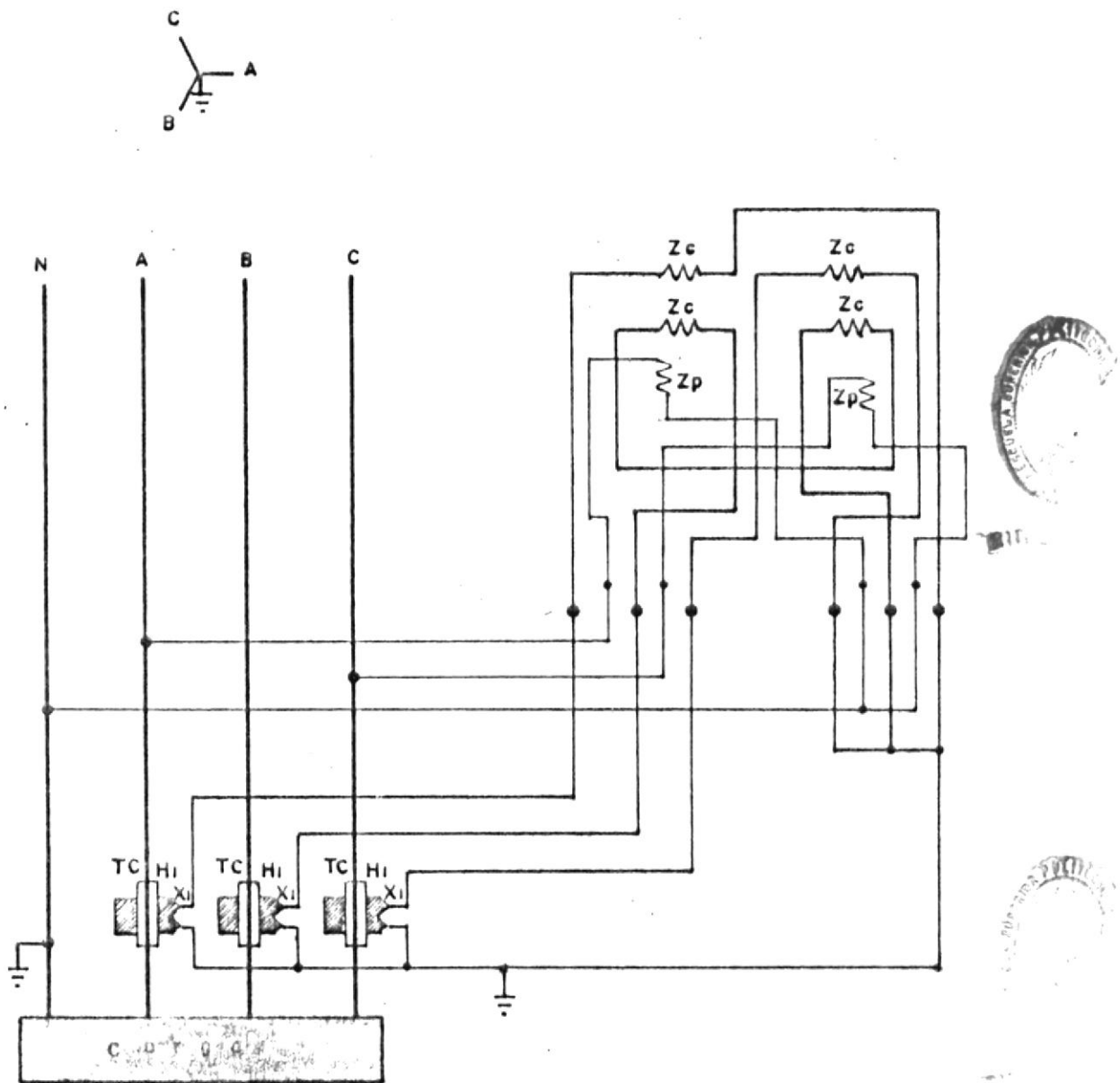


FIG. N° 1.9

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR DE DOS ELEMENTOS Y MEDIO, CON CONEXION ESTRELLA

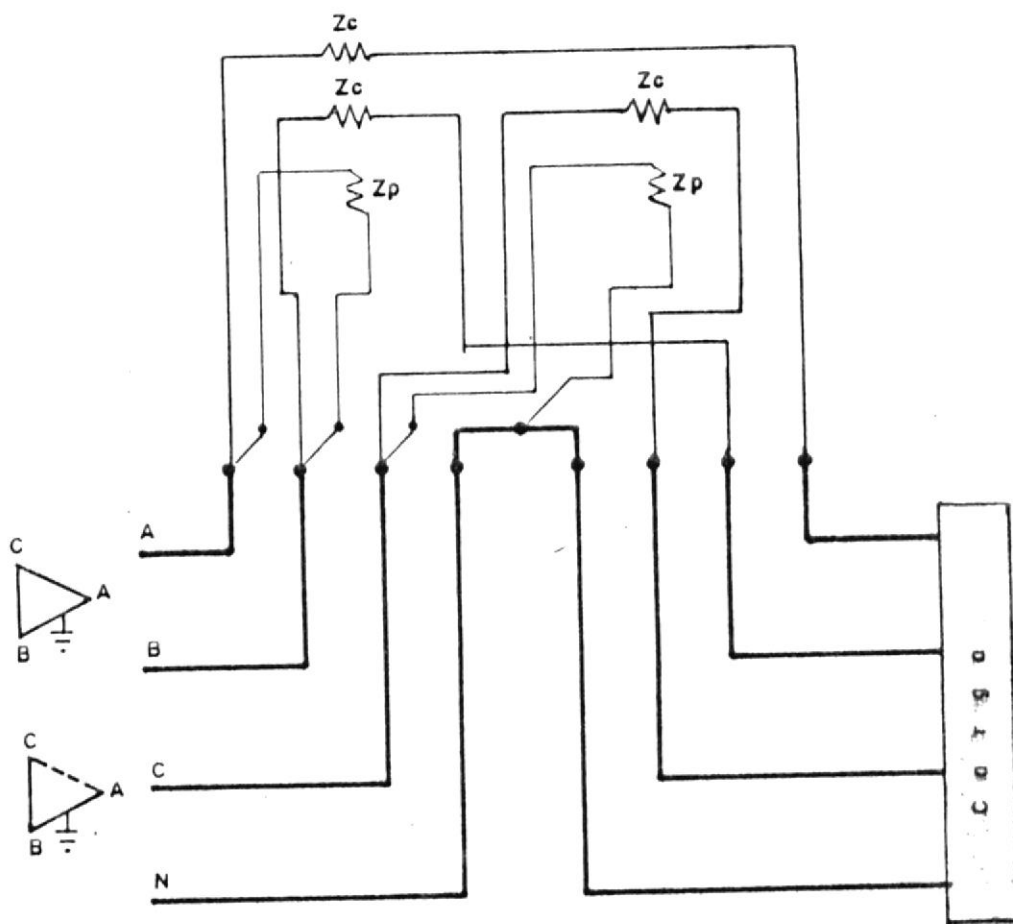


FIG. N° 1.10

ESQUEMA DE MEDICION DIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR DE DOS ELEMENTOS Y MEDIO; CON CONEXION TRIANGULO

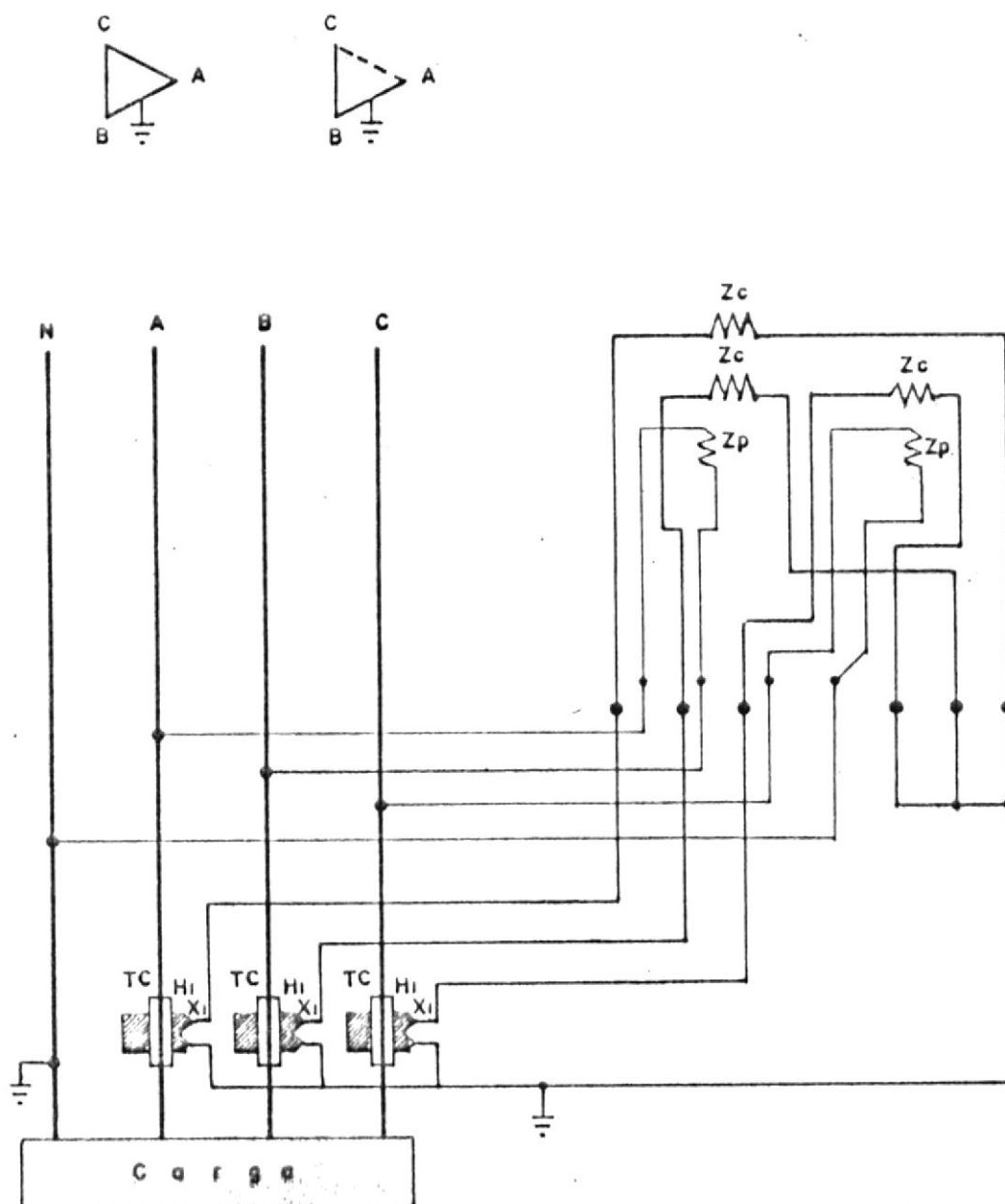


FIG. N° I.II

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR DE DOS ELEMENTOS Y MEDIO, CON CONEXION TRIANGULO

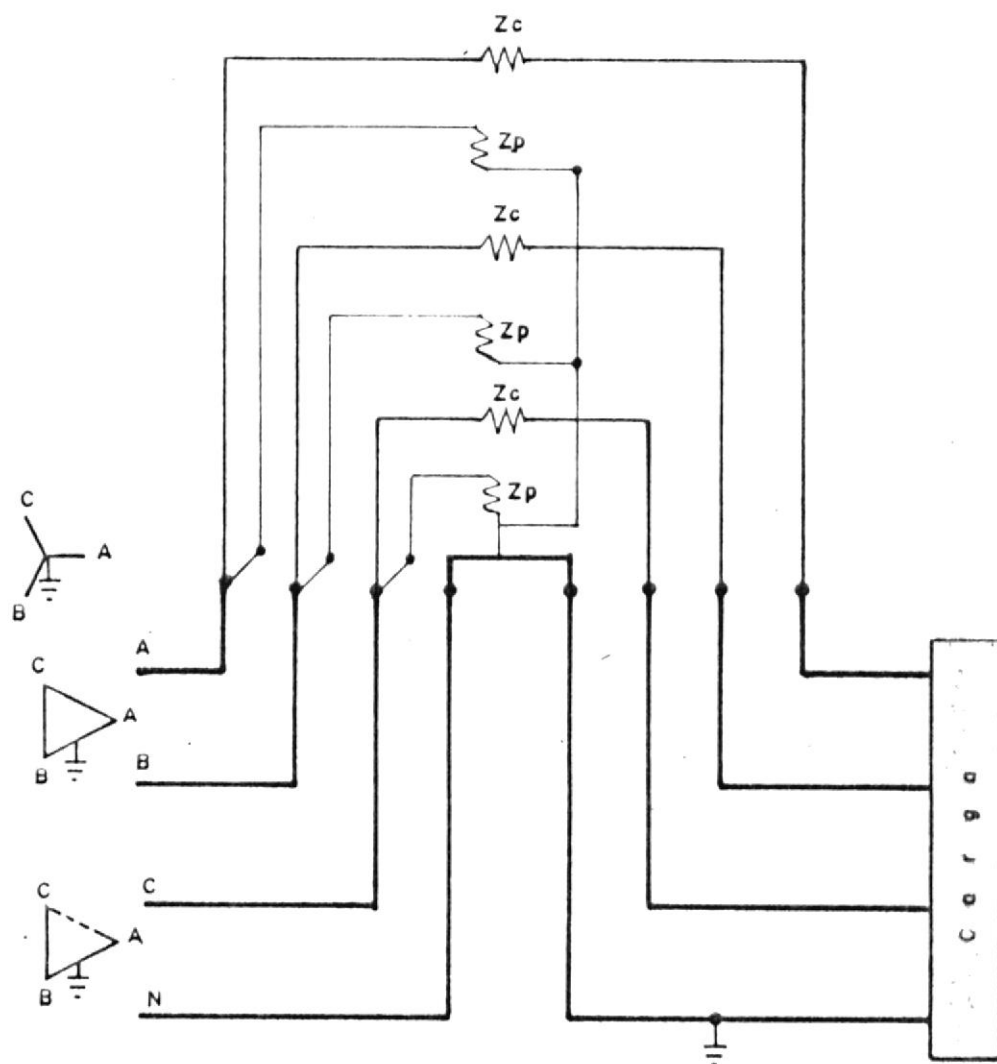


FIG. N° 1.12

ESQUEMA DE MEDICION DIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR
DE TRES ELEMENTOS

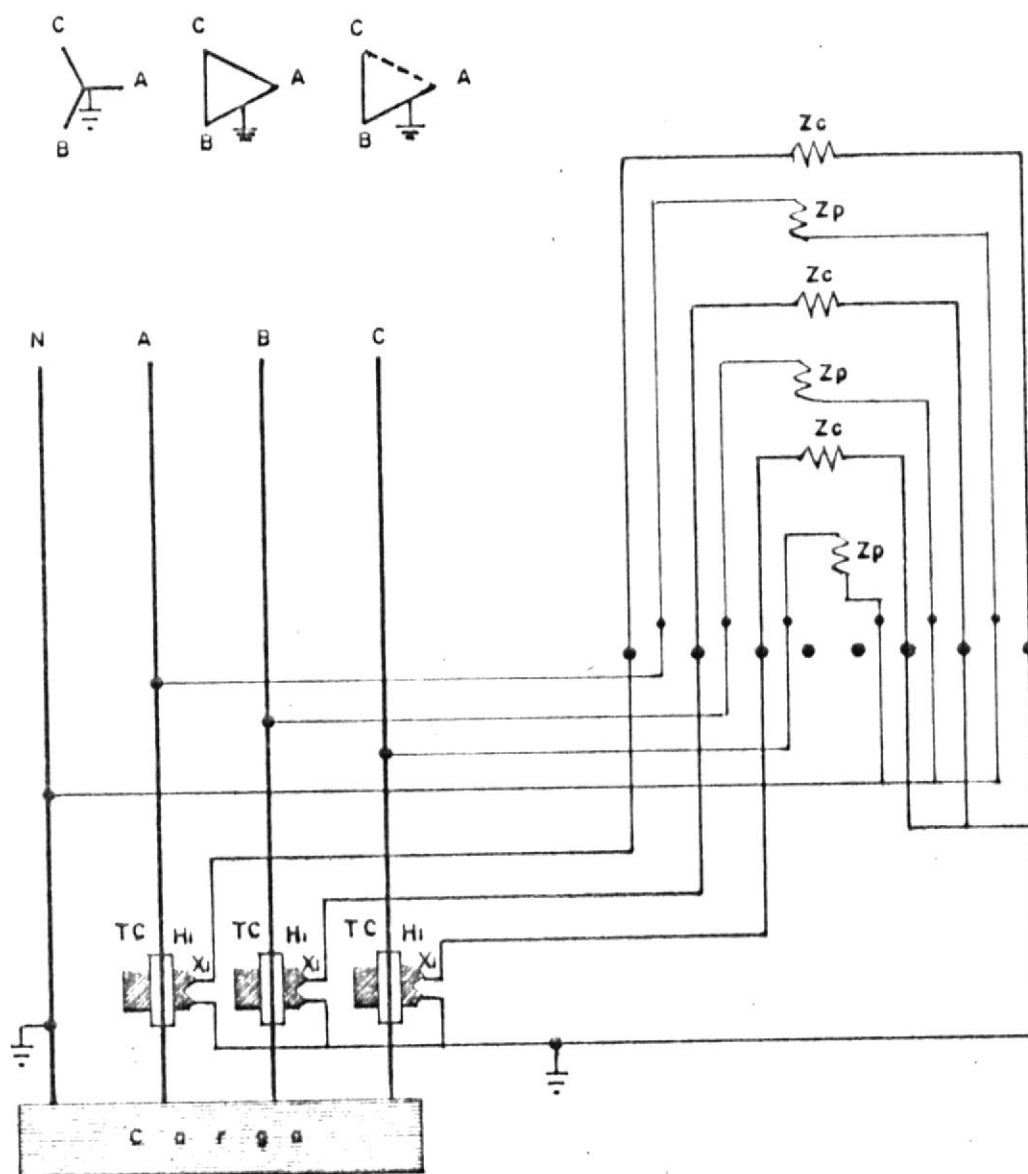


FIG. N° 1.13

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN BAJA TENSION CON MEDIDOR DE TRES ELEMENTOS

de tres elementos, tanto para conexión en estrella como para conexión en triángulo.

Es aconsejable conectar el neutro del sistema de distribución con el punto común de las tres bobinas de potencial del medidor de tres elementos, asumiendo que estas bobinas son exactamente idénticas entre sí.

1.4 Medición en tensión media en los circuitos trifásicos.

La medición de energía eléctrica para consumidores industriales (alimentados en 13.8 KV), con transformadores propios hasta 250 KVA, se hace en el lado de baja tensión, tal como indicó en el párrafo 1.3.

Las industrias con subestaciones superiores a 250 KVA e inferiores a 2000 KVA., alimentadas a través de circuitos trifásicos a 13.8 KV con tres hilos, conectados en triángulo o estrella con neutro aislado, la medición eléctrica se hace en el lado primario (lado de 13.8 KV) por medio de un medidor trifásico de dos elementos, debiendo ser provisto de un dispositivo indicador de demanda máxima. Si la alimentación se hace a través de circuitos trifásicos a 13.8 KV con

tres hilos y un neutro, conectados en triángulo o estrella, la medición eléctrica se hace en el lado primario (lado de 13.8 KV) por medio de un medidor de dos y medio ó de tres elementos, provisto de un dispositivo indicador de demanda máxima. Para ambos casos de alimentación, forzosamente se necesita el empleo de los transformadores de corriente y de potencial.

A) Medidor de dos elementos.

El medidor de dos elementos debe ser aplicado a consumidores industriales cuya subestación reductora tiene el primario conectado en triángulo o en estrella con neutro aislado, tal como se muestra en la Figura 1.14.

En la instalación de estos medidores, debe aterrizar el secundario y el núcleo de los transformadores de corriente y de potencial, por medida de seguridad.

B) Medidores de dos y medio elementos.

Tal como se trató en el párrafo anterior, estos medidores se los utiliza para mediciones de ener-

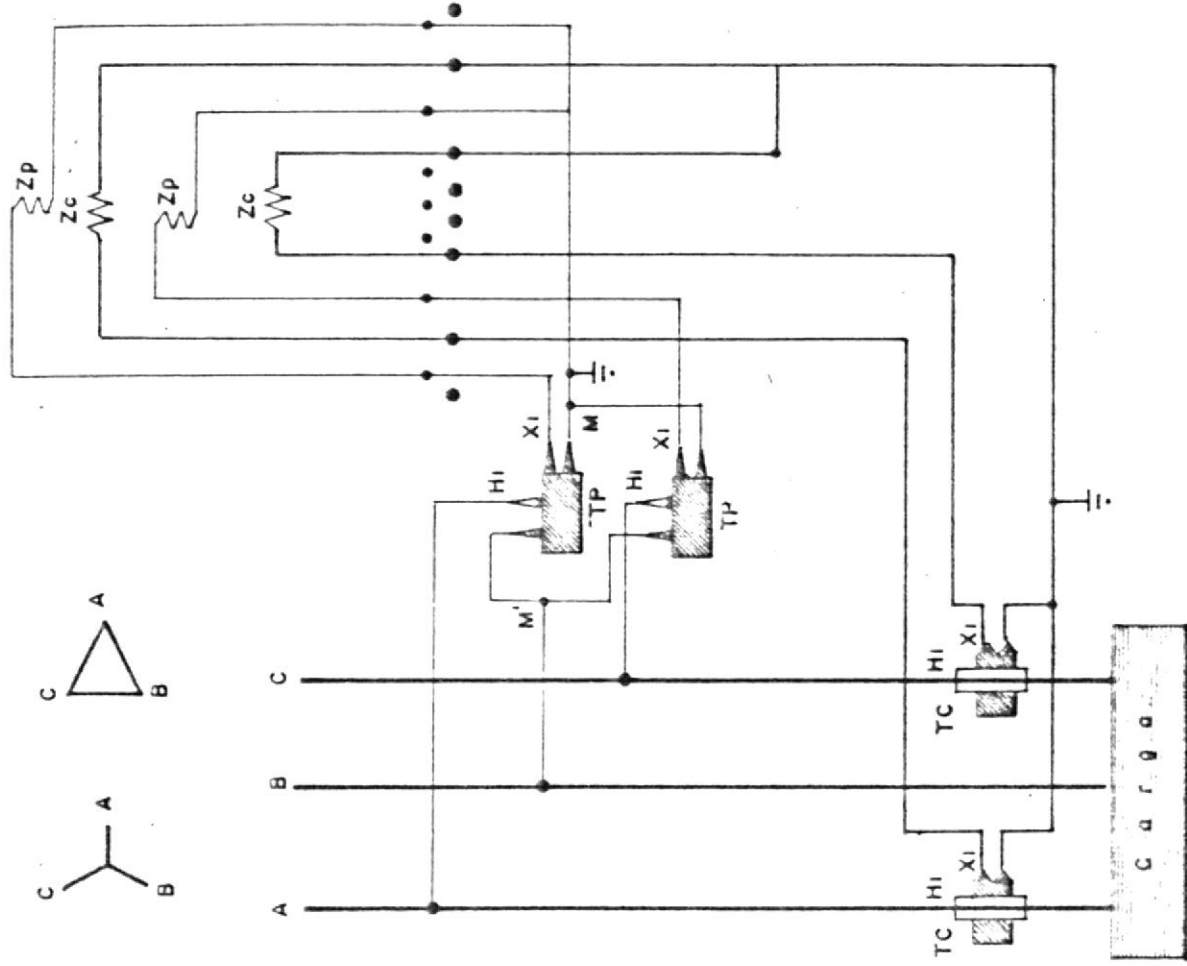


FIG. N° 1.14
 ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN MEDIA TENSION CON MEDIDOR
 DE DOS ELEMENTOS

gía con conexión triángulo ó estrella, utilizándose necesariamente los transformadores de corriente y de potencial. La Figura 1.15 muestra las conexiones para una alimentación en estrella; mientras que para una alimentación en triángulo se utiliza el esquema de la Figura 1.13, conectando los transformadores de potencial de la misma forma que en la Figura 1.15.

C) Medidor de tres elementos.

En el lado de 13.8 KV también es utilizado el medidor de tres elementos para los sistemas estrellas con neutro, el cual se muestra en la Figura 1.16.

1.5 Medición en alta tensión.

Los industrias con subestaciones reductoras a partir de los 2000 KVA son alimentados a través de circuitos trifásicos de alta tensión (alrededor o arriba de 69 KV) de tres hilos sin neutro.

La medición de energía eléctrica solicitada por tal industria puede ser hecha en el lado primario ó en el lado secundario, siendo en cualquiera de los dos casos necesario el empleo de los transformadores de

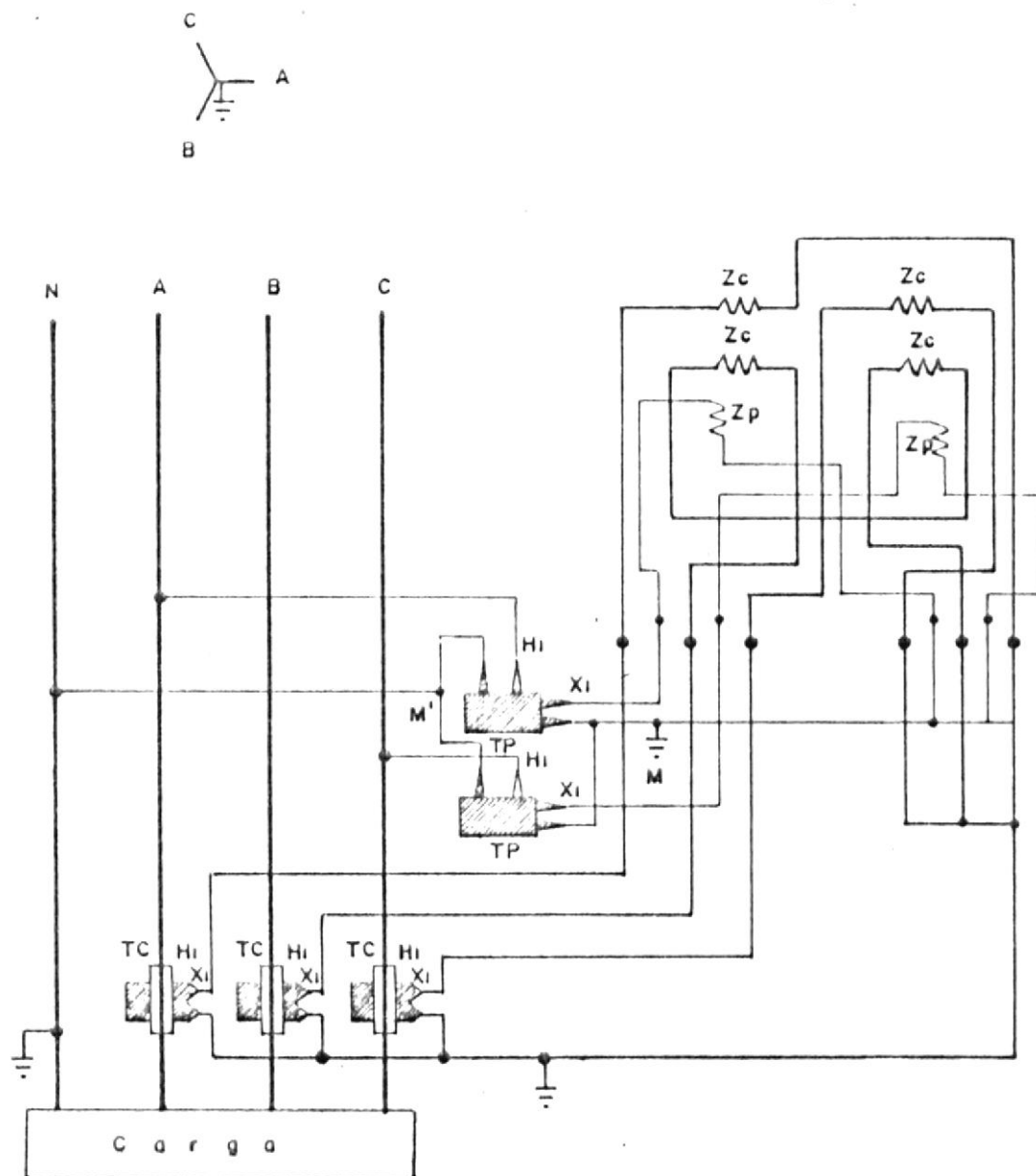


FIG. N° 1.15.

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN MEDIA TENSION CON MEDIDOR DE DOS ELEMENTOS Y MEDIO, CON CONEXION ESTRELLA

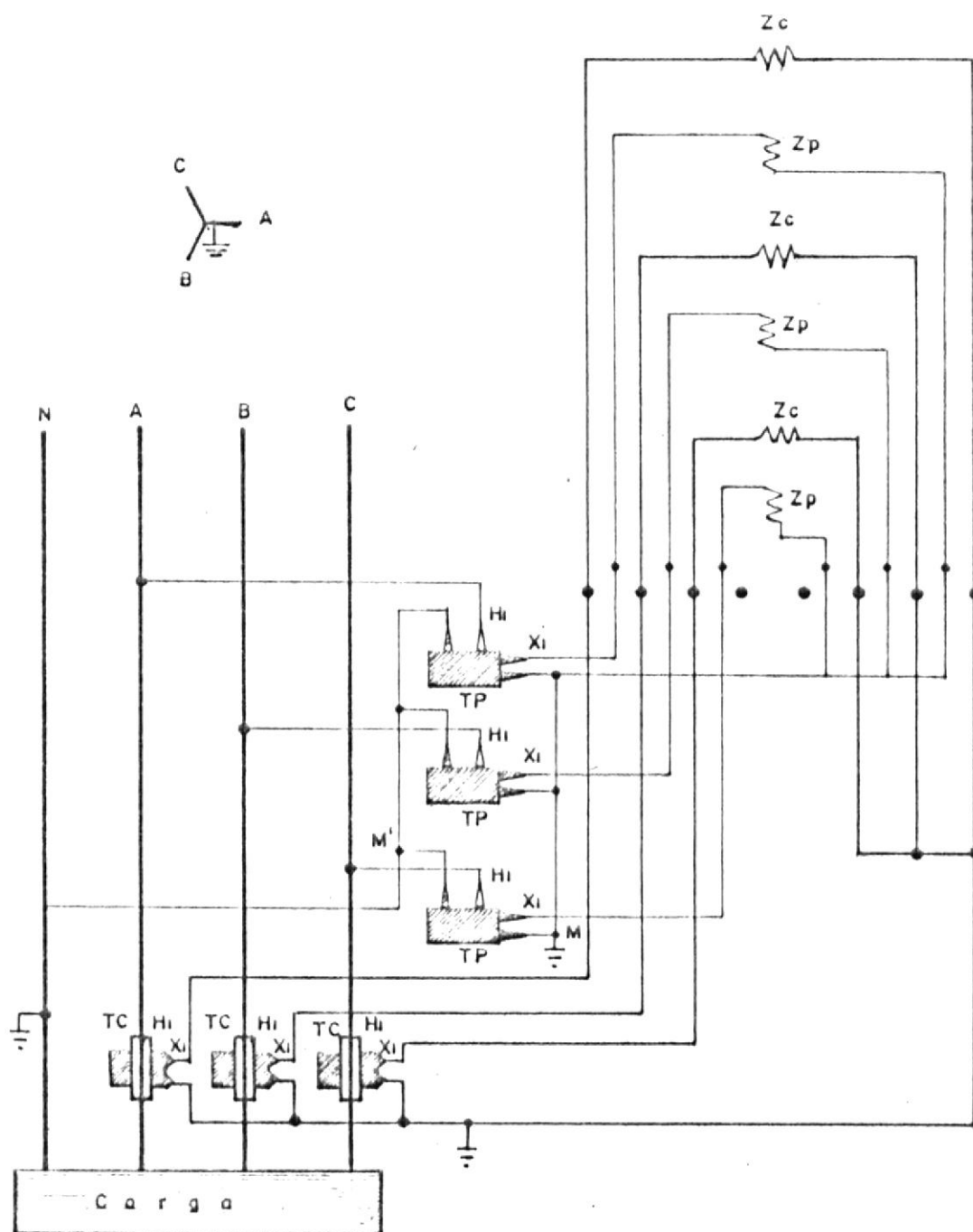


FIG. N°. 116

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN MEDIA TENSION CON MEDIDOR DE TRES ELEMENTOS, CONEXION ESTRELLA

corriente y los transformadores de potencial, los cuales deben ser especificados, naturalmente, para el nivel de aislamiento correspondiente a la tensión del circuito que van a ser instalados.

A) Medición en el lado secundario.

Si la medición de energía eléctrica referente a las industrias alimentadas en alta tensión se hace en el lado secundario (13.8 KV), el medidor utilizado es el mismo indicado en el párrafo anterior, conforme sea el circuito de salida, en el secundario de la subestación de la industria, de tres ó de cuatro hilos.

B) Medición en el lado primario.

Si el lado primario de la subestación reductora de la industria esta conectado en triángulo o estrella con neutro aislado, la medición se realiza a través de un medidor de dos elementos, pudiendo este conectarse de acuerdo a los dos esquemas siguientes:

- 1) Utilización de dos transformadores de corriente y dos transformadores de potencial.

El esquema del montaje correspondiente a ser utilizado se muestra en la Figura 1.14 considerada en el párrafo anterior.

- 2) Utilización de dos transformadores de corriente y tres transformadores de potencial.

El esquema del montaje correspondiente a ser utilizado se muestra en la Figura 1.17.

Como la indicación del medidor depende de la composición de las tres tensiones simples (tensión entre fase y neutro), el punto común M de las tres bobinas primarias y M' de las tres bobinas secundarias de los transformadores de potencial, deben ser sólidamente aterrizados.

Este montaje es bastante empleado en la práctica, ya que tiene la ventaja que los transformadores de potencial están aplicados a la tensión entre la fase y el neutro del sistema.

Si el lado del primario de la subestación de la industria está conectado en estrella con neutro aterrizado, y teniendo en cuenta que su alimentación en alta tensión proviene de los transfor-

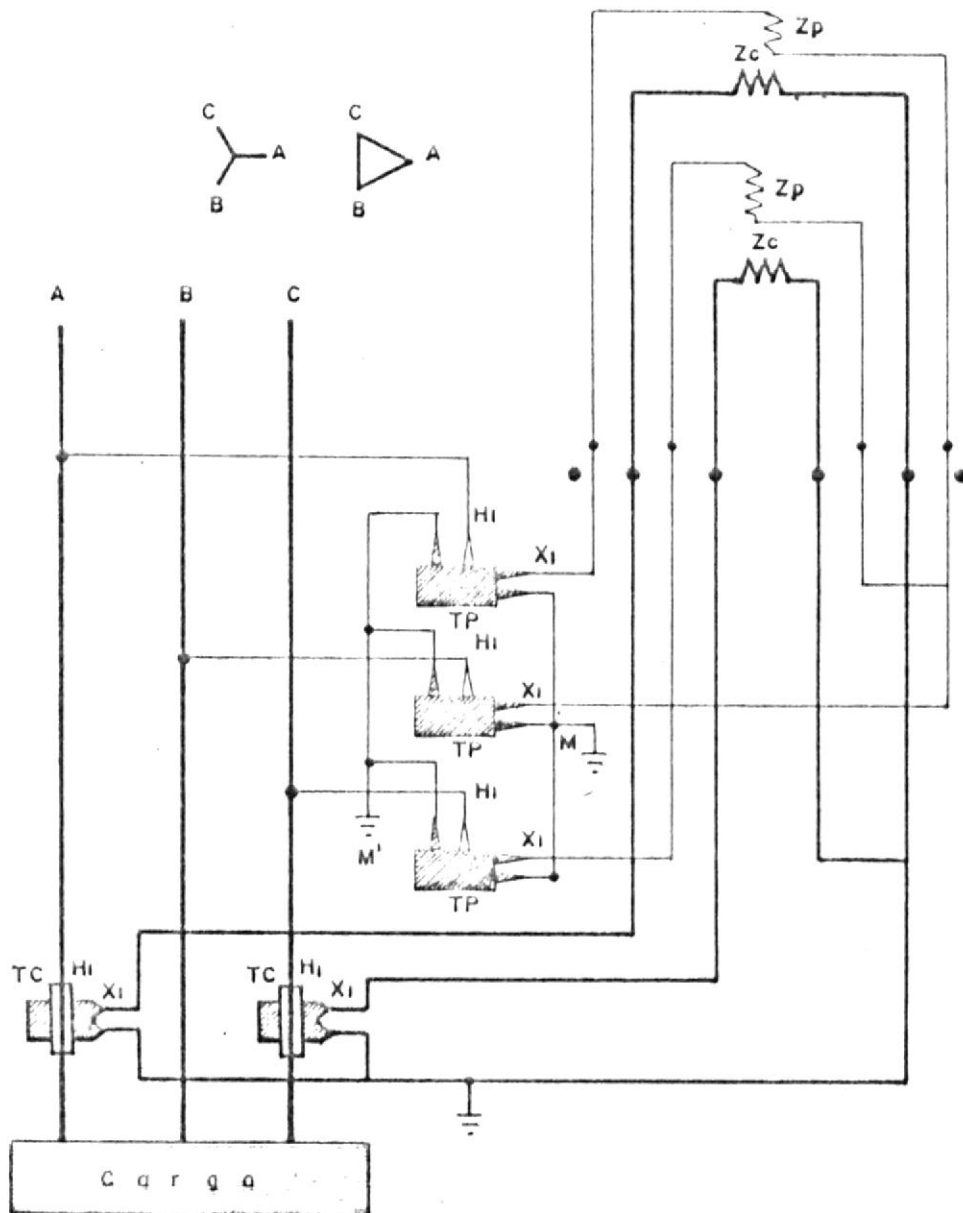


FIG. N° 1.17

ESQUEMA DE MEDICION INDIRECTA EN ALTA TENSION CON MEDIDOR DE DOS ELEMENTOS (DOS TC Y TRES TP)

madores de la empresa eléctrica cuyos secundarios son conectados también con neutro aterrizado, la medición referente a este consumidor tiene que ser a través de un medidor trifásico de tres elementos, tal como se muestra en la Figura 1.16.

CAPITULO 2

DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES SECUNDARIOS DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL.

En este capítulo se enfoca la manera de dimensionar correctamente los conductores que conectan los secundarios de los transformadores de corriente y de potencial con los medidores, con el fin de que la influencia de estos sea lo menor posible para la exactitud de la medición.

2.1 Dimensionamiento adecuado de conductores secundarios de los Transformadores de Corriente.

En los circuitos de cuatro hilos, baja tensión, los transformadores de corriente están bien próximos a los medidores, por lo tanto los conductores secundarios de los transformadores de corriente no constituyen carga considerable, por lo cual se utiliza hilos de cobre No 12 AWG o No 10 AWG revestido con material termoplástico.

En los circuitos de media y alta tensión, es necesario dimensionar adecuadamente los conductores secun-

darios de los transformadores de corriente y de potencial, con el fin de que su influencia sea lo menor posible en la exactitud de la medición, por lo cual analizaremos dos tipos de mediciones (con dos elementos y con tres elementos) existentes en la práctica.

2.1.1 Dimensionamiento de los conductores secundarios de los transformadores de corriente, medición con tres elementos.

Vamos a tomar como base la medición con tres elementos mostrado en la Figura 1.16, siendo aquí solo considerado el circuito de corriente (Figura 2.1), identificando la impedancia de la bobina de corriente y la resistencia del conductor.

- a) Z_c , R_c y X_c = Impedancia, resistencia y reactancia equivalentes, respectivamente, de las bobinas de corriente puestas en serie con los instrumentos de medición.

- b) r = Resistencia de un conductor secundario, correspondiente a

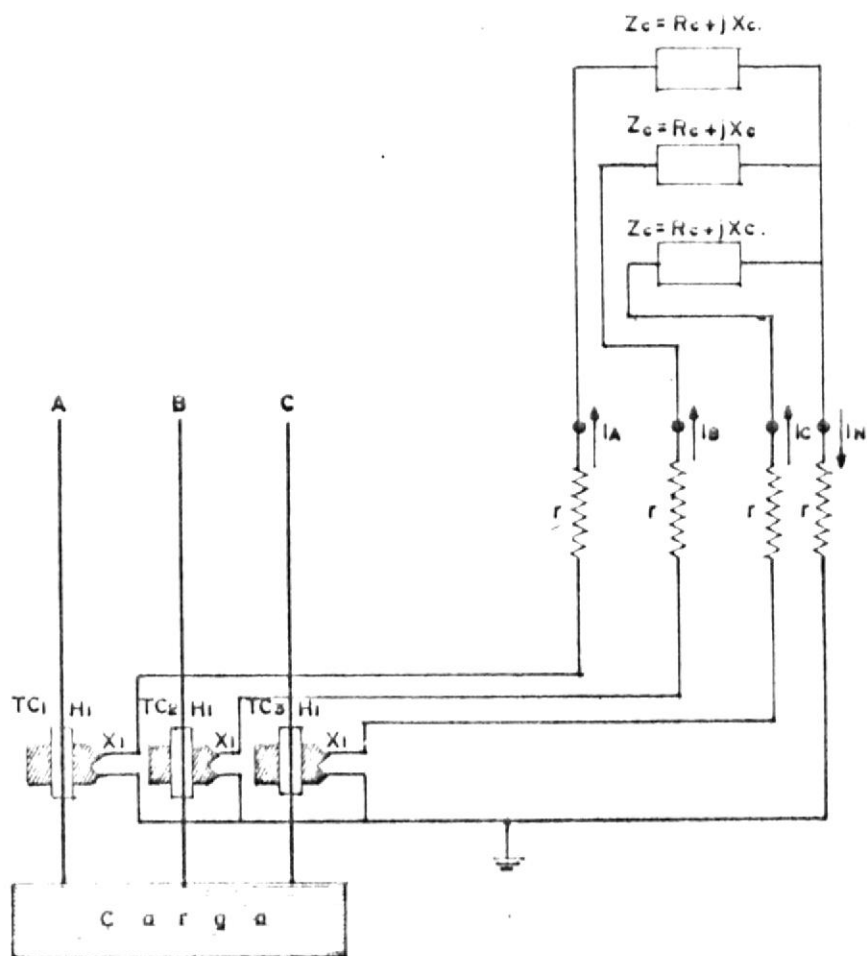


FIG. N° 2.1

CIRCUITO DE CORRIENTE DE LA MEDICION CON TRES ELEMENTOS,
TRES TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

la distancia entre los transformadores de corriente y el medidor.

Para el dimensionamiento de los conductores, dos casos son analizados, teniendo en cuenta que los circuitos pueden ser balanceados o desbalanceados.

1o CASO:

Circuito balanceado : $I_A + I_B + I_C = I_N = 0$

Como las corrientes son equilibradas, vamos a tomar como base el primer transformador de corriente (TC₁), tal como se muestra en la Figura 2.2, donde:

a) rI_A = Caída de tensión en el conductor que circula la corriente I_A . Por lo tanto, en fase con I_A .

b) $R_c I_A$ = Caída de tensión del componente resistivo de las bobinas de corriente del primer elemento del medidor. Por lo tanto en fase con I_A .

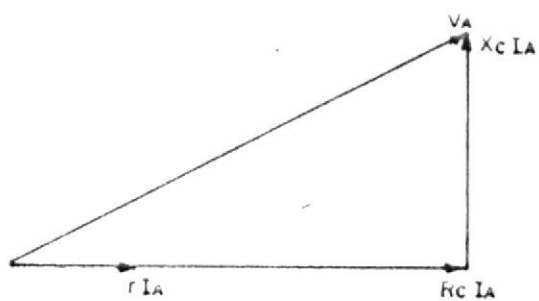


FIG. N° 2.2

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE, MEDICION
CON TRES ELEMENTOS (CIRCUITO EQUILIBRADO)

- c) $X_c I_A$ = Caída de tensión del componente inductivo de las bobinas de corriente del primer elemento de corriente del medidor. Por lo tanto, adelantado en 90 grados en relación a I_A .

De la Figura 2.2 tenemos:

$$V_A^2 = I_A^2 [(R_c + r)^2 + X_c^2] \quad (1)$$

En las condiciones nominales del transformador de corriente, siendo Z_n la impedancia correspondiente a su carga nominal, podemos escribir:

$$|Z_n| = \frac{V_{1n}}{I_{1n}} \quad |Z_n|^2 = (R_c + r_m)^2 + X_c^2$$

por lo tanto, el valor máximo permisible para la resistencia r del conductor será:

$$r_m = \sqrt{|Z_n|^2 - X_c^2} - R_c \quad (2)$$

2° CASO:

Circuito desbalanceado: $I_A + I_B + I_C = I_N$

Vamos a considerar un caso extremo de desbalanceamiento, apenas una fase con corriente, por ejemplo la fase A. Entonces:

$$I_A = I_N$$

La Figura 2.3 muestra el diagrama fasorial correspondiente, y tenemos:

$$V_A^2 = I_A^2 [(R_c + 2r)^2 + X_c^2] \quad (3)$$

En condiciones nominales del transformador de corriente, adoptando el mismo razonamiento anterior, concluimos que el valor máximo permisible para r es:

$$r_m = \frac{\sqrt{I_{N1}^2 X_c^2} - R_c}{2} \quad (4)$$

2.1.2 Dimensionamiento de los conductores secundarios de los transformadores de corriente, medición con dos elementos.

Vamos a considerar como base la medición con dos elementos, mostrada en la Figura 1.14, siendo aquí considerado el circuito de corriente (Figura 2.4). Dos casos son analizados,

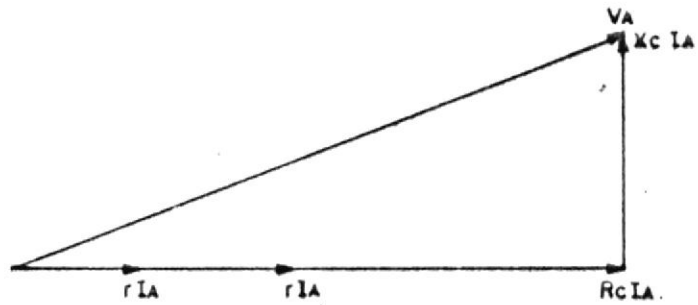


FIG. Nº 2.3

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LOS CIRCUITOS DE CORRIENTES, MEDICION CON TRES ELEMENTOS CIRCUITO DESEQUILIBRADO.

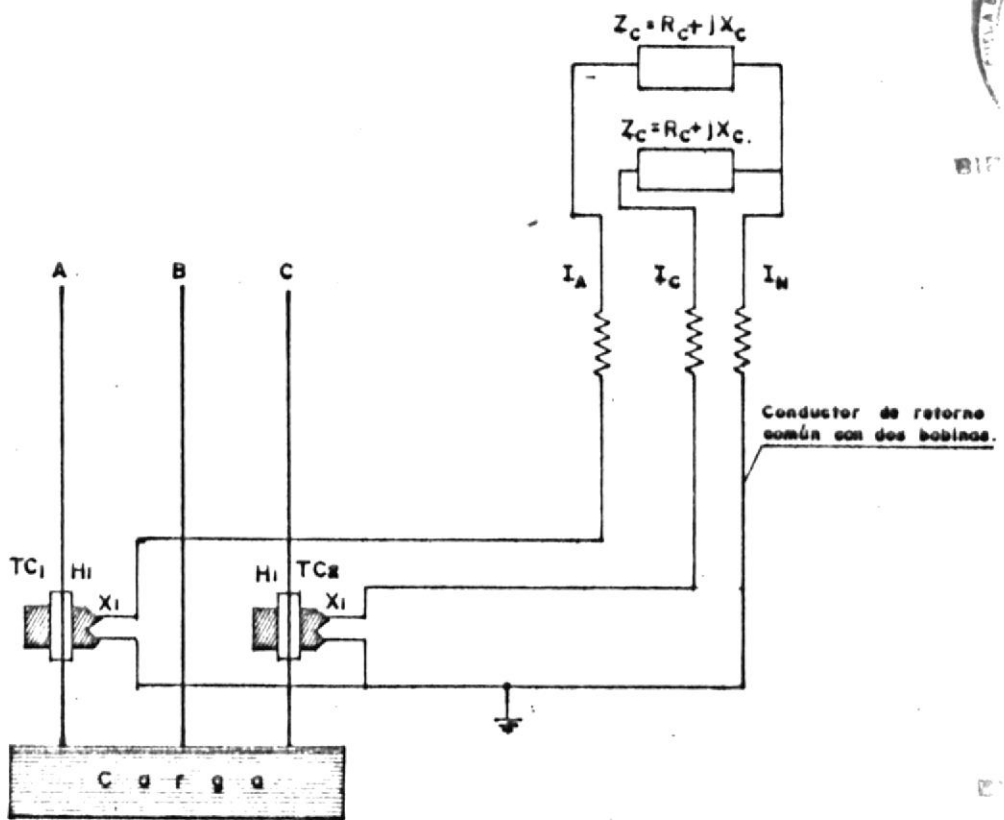


FIG. Nº 2.4

CIRCUITO DE CORRIENTE DE LA MEDICION CON DOS ELEMENTOS, DOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

tomando en cuenta las dos posibilidades de alimentación de las bobinas de corriente del medidor.

1° CASO.

Las bobinas de corriente de dos elementos son alimentadas a través de tres conductores, esto es, hay un conductor de retorno común a los dos elementos, conforme muestra la Figura 2.4, identificando la impedancia de la bobina de corriente y la resistencia del conductor, determinadas en el párrafo anterior.

Considerando las corrientes balanceadas (lo que es normal en este tipo de circuitos en alta tensión de tres hilos), I_A e I_C estarán desfasadas entre sí 120 grados y, consecuentemente $I_N = I_A + I_C$ que circula en el conductor de retorno, y es igual en módulo a I_A que está desfasada de ella en 60 grados, como se muestra en la Figura 2.5.

En la Figura 2.6 se muestra las tensiones V_A y V_C en los terminales de transformadores 1 y 2 respectivamente, y caídas de tensiones que

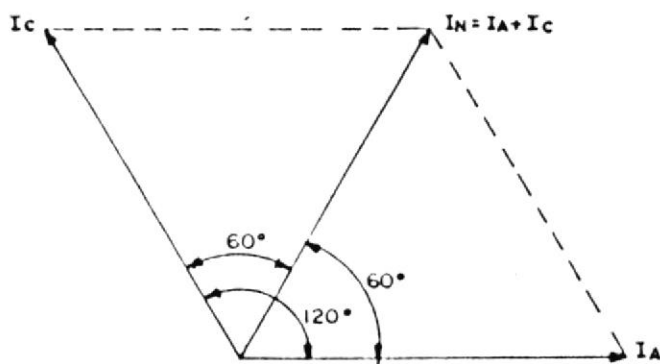


FIG. N° 2.5

DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE EN MEDICION CON DOS ELEMENTOS,
CONDUCTOR DE RETORNO COMUN.

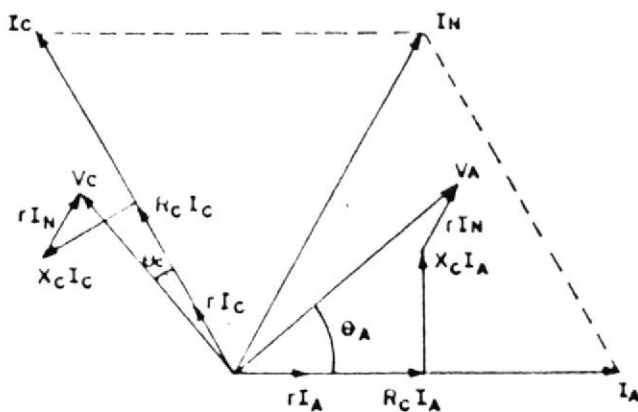


FIG. N° 2.6

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE, MEDICION
CON DOS ELEMENTOS CONDUCTOR DE RETORNO COMUN
(CALCULO DE F.M.)

ocurren en varios componentes de los circuitos de corriente que ellas alimentan y podemos obtener:

a) Tensión V_A en los terminales del primer transformador de corriente (TC1):

$$V_A^2 = I_A^2 \left[\left(R_c + \frac{3}{2} r \right)^2 + \left(X_c + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right)^2 \right] \quad (5)$$

b) Tensión V_c en los terminales del segundo transformador de corriente (TC2):

$$V_c^2 = I_c^2 \left[\left(R_c + \frac{3}{2} r \right)^2 + \left(X_c - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right)^2 \right] \quad (6)$$

Comparando las expresiones 5 y 6 concluimos que V_A es mayor a V_c , lo que nos indica que la tensión rIR en el conductor de retorno común, afecta los dos transformadores de corriente al mismo tiempo. Es así, que esta condicionado el dimensionamiento de los conductores por dos valores de resistencias, debiendo naturalmente ser tomado en consideración el menor de ellos.

1) Expresión para el cálculo del valor máximo r_m permisible para la resistencia r del

conductor, teniendo en cuenta la carga nominal del primer transformador de corriente (TC₁).

$$r_m = \frac{\sqrt{12 \cdot |Z_n|^2 - (3X_c - \sqrt{3} \cdot R_c)^2} - (3R_c + \sqrt{3} \cdot X_c)}{6}$$

expresión (7).

- 2) Expresión para el cálculo del valor máximo r_m' permisible para la resistencia r del conductor.

Para evitar la condición capacitiva en el transformador 2, se determina el valor máximo de r_m' de r obtenido en una situación de V_N en fase con I_c (Ver Figura 2.6). La Figura 2.7 muestra esta situación y podemos escribir:

$$r_m' I_N \cdot \text{Sen}60^\circ = X_c I_c ; \quad \text{por lo cual:}$$

$$r_m' = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot X_c \quad (8)$$

En la práctica se coloca dos conductores en paralelo. La caída de tensión provocada por I_N

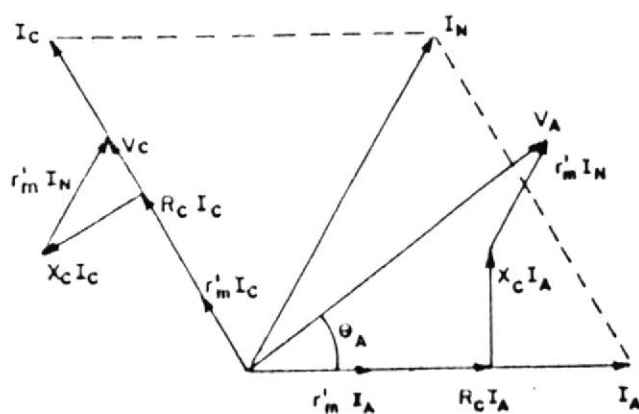


FIG. N° 2.7

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE, MEDICION
 CON DOS ELEMENTOS, DOS CONDUCTORES DE RETORNO EN PARALELO
 (CALCULO DE r'_m)

es ahora la mitad que cuando habia un conductor de retorno.

- 1) Dos conductores de retorno en paralelo.

De la Figura 2.6 tenemos:

$$VA^2 = IA^2 \left[\left(R_c + \frac{5}{4} \cdot r \right)^2 + \left(X_c + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot r \right)^2 \right] \quad (9)$$

En condiciones nominales del transformador de corriente 1, el valor máximo r_m permisible para r es:

$$r_m = \frac{\sqrt{28 \cdot |Z_n|^2 - (5X_c - \sqrt{3} \cdot R_c)^2 - (5R_c + \sqrt{3} \cdot X_c)}}{7} \quad (10)$$

- 2) Dos conductores de retorno en paralelo.
Cálculo de r_m' .

De la Figura 2.7 tenemos:

$$r_m' = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot X_c \quad (11)$$

2° CASO.

Las bobinas de corriente son alimentadas independientemente a partir del respectivo transformador de corriente, esto es, cada elemento tiene su conductor de retorno separado, tal como lo muestra la Figura 2.8.

De la Figura 2.9 proyectamos las tensiones V_A y V_C , de los terminales de los transformadores 1 y 2, respectivamente, en una dirección perpendicular a la corriente respectiva y determinamos:

$$V_A^2 = I_A^2 [(R_c + 2r)^2 + X_c^2] \quad (12)$$

$$V_C^2 = I_C^2 [(R_c + 2r)^2 + X_c^2] \quad (13)$$

Podemos ver que $V_A = V_C$, lo que nos indica que para este caso el dimensionamiento de los conductores está condicionado solo por la carga nominal de los TC, por lo tanto:

$$r_m = \frac{\sqrt{|Z_n|^2 - X_c^2}}{2} - R_c \quad (14)$$

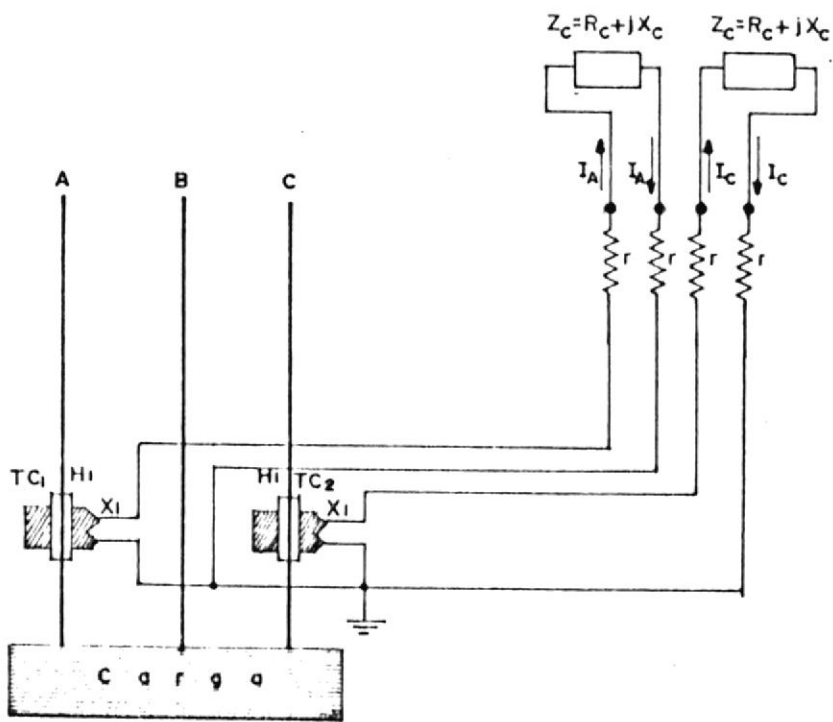


FIG. N° 2.8

CIRCUITO DE CORRIENTE DE LA MEDICION EN MEDIA Y ALTA TENSION, DOS ELEMENTOS, DOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, CONDUCTOR DE RETORNO SEPARADO.

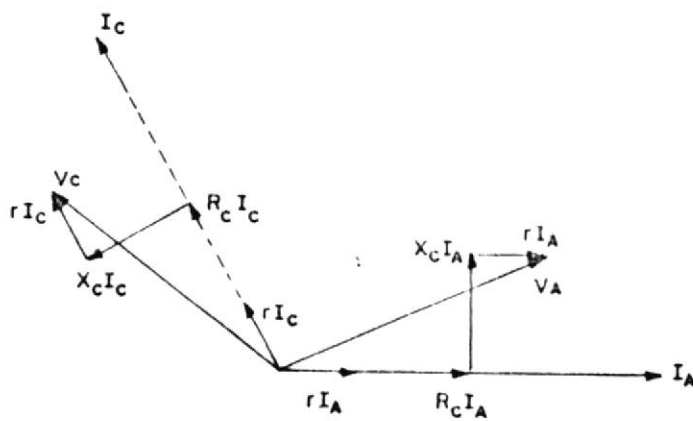


FIG. N° 2.9

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LOS CIRCUITOS DE CORRIENTE, MEDICION CON DOS ELEMENTOS, CONDUCTOR DE RETORNO SEPARADO.

2.2 Dimensionamiento adecuado de conductores secundarios de los transformadores de potencial.

Los conductores que unen los secundarios de los transformadores de potencial con las bobinas de potencial de los instrumentos de medición, tienen una caída de tensión provocada por las corrientes que por ellos circulan. Como consecuencia, la tensión que llega a las bobinas es diferente, en módulo y argumento, a la tensión de los terminales de los transformadores de potencial, pudiendo esto introducir errores considerables en los valores indicados por los instrumentos de medición, en relación a los valores verdaderos solicitados por la carga. Es así, que en la práctica la diferencia entre la tensión V_{TP} en los terminales del transformador de potencial y la tensión V_p que llega a las bobinas de potencial no deben ser superior a 0,1% de V_{TP} :

$$\Delta V = V = |V_{TP} - V_p| \leq 0,1\% \text{ de } V_{TP}. \quad (15)$$

Para grandes consumidores, este porcentaje puede ser reducido a 0,075% de V_{TP} ó hasta 0,05% de V_{TP} .

Así mismo, el dimensionamiento de los conductores secundarios consiste, básicamente, en calcular las

corrientes que por ellos circulan tomando en cuenta los instrumentos de medición conectados, y seguidamente, limitar la caída de tensión por ellos provocados a valores aceptables.

Siendo así, será abordado el dimensionamiento de los conductores secundarios de los transformadores de potencial, en los dos tipos de mediciones existentes en la práctica.

2.2.1 Dimensionamiento de los conductores secundarios de los transformadores de potencial, medición con tres elementos.

Vamos a tomar como base la medición con tres elementos mostrada en la Figura 2.10, considerando solo el circuito de tensión e identificando la resistencia del conductor y las impedancias de las bobinas de potencial, de los medidores para medición de KWH y KVARH, respectivamente, y del autotransformador desfasador más utilizado en la práctica para medición de KVARH en circuitos de cuatro hilos, el cual es tipo de entrada para dos fases y un neutro (conexión en estrella incompleta).

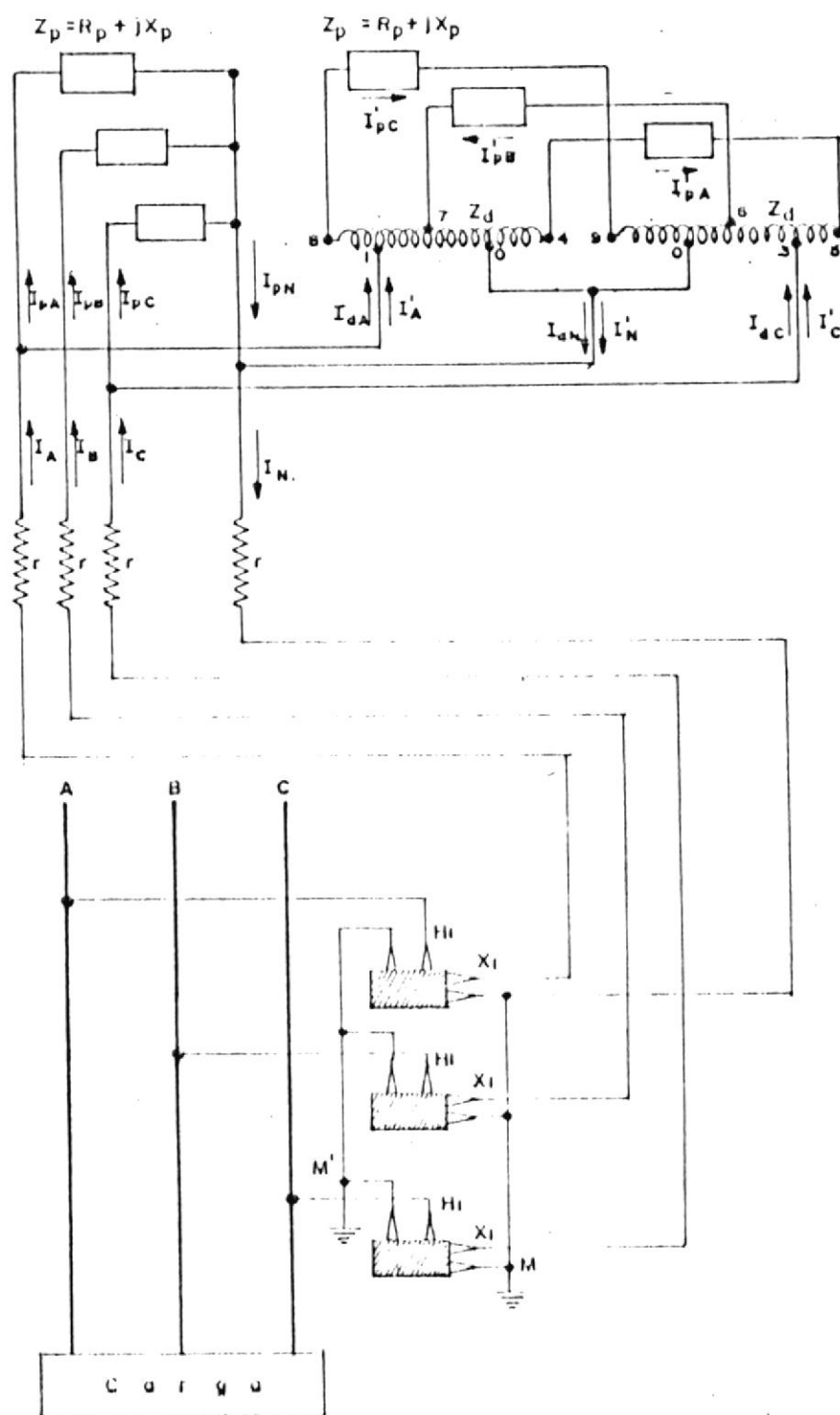


FIG. N° 2.10

CIRCUITO DE CORRIENTE EN MEDICIONES DE KW Y KVAR CON TRES ELEMENTOS, TRES TRANSFORMADORES DE POTENCIAL, UN AUTOTRANSFORMADOR DESFAZADOR.

- a) Z_p , R_p y X_p = Impedancia , resistencia y reactancia, respectivamente, de cada bobina de potencial de los medidores de KWH y KVARH, los cuales serán considerados idénticos.
- b) Z_a , R_a y X_a = Impedancia , resistencia y reactancia, respectivamente, de cada porción de bobina del autotransformador desfasador alimentado entre la fase y el neutro.
- c) r = Resistencia de un conductor secundario, correspondiente a la distancia entre los transformadores de potencial y los instrumentos de medición.
- d) I_d = Corriente de excitación del autotransformador desfasador, esto es, corriente solicitada por Z_a cuando el autotransfor-

mador desfasador esta en vacio.

e) I_A' ; I_C' ; I_W' = Corrientes en los conductores que alimentan al autotransformador desfasador, las cuales son repercusión de las corrientes I_{pA}' , I_{pB}' e I_{pC}' (Corrientes que circulan por las bobinas de potencial del medidor de KVAR).

f) I_{pA} ; I_{pB} ; I_{pC} = Corrientes que circulan por las bobinas de potencial del medidor de KWH.

Luego de analizar los tres circuitos independientemente con la ayuda de las Figuras 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14 se obtienen las corrientes que circulan por los instrumentos de medición, siendo estas las siguientes:

$$I_{pA} = \frac{S_D}{V} \angle -\theta_p \quad I_{pB} = \frac{S_D}{V} \angle -120^\circ - \theta_p \quad I_{pC} = \frac{S_D}{V} \angle 120^\circ - \theta_p$$

$$I_{dA} = \frac{S_d}{V} \angle -\theta_d \quad I_{dC} = \frac{S_d}{V} \angle 120^\circ - \theta_d$$

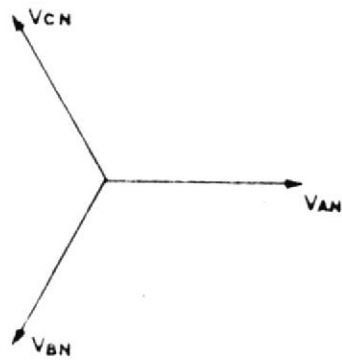


FIG. Nº 2.11

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN LA MEDICION CON TRES ELEMENTOS

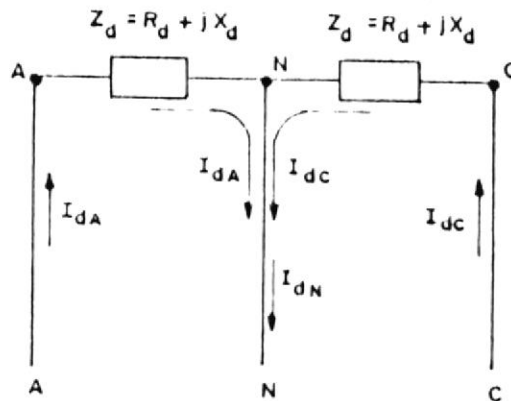


FIG. Nº 2.12

CIRCUITO INDEPENDIENTE DE CORRIENTE DEL AUTOTRANSFORMADOR DESFASADOR.
(TRES TP)

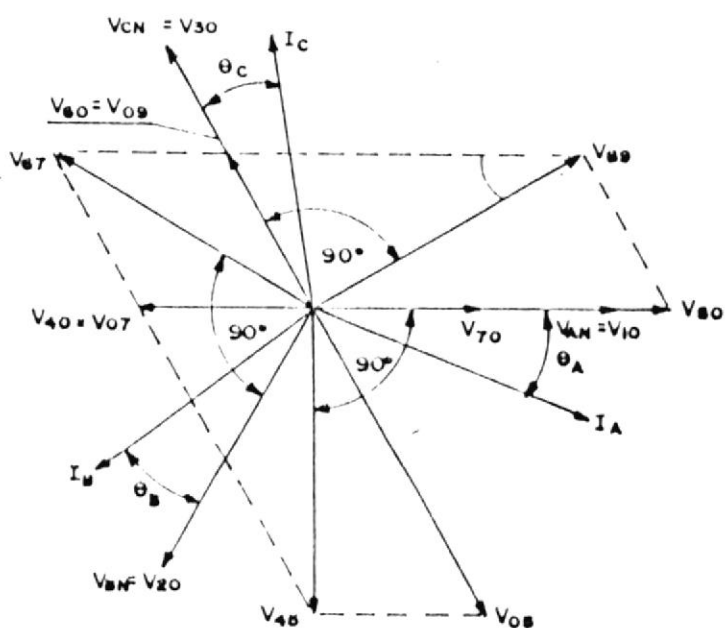


FIG. N° 2.13

DIAGRAMA FASORIAL DEL AUTOTRANSFORMADOR DESFASADOR
(TRES TP.)

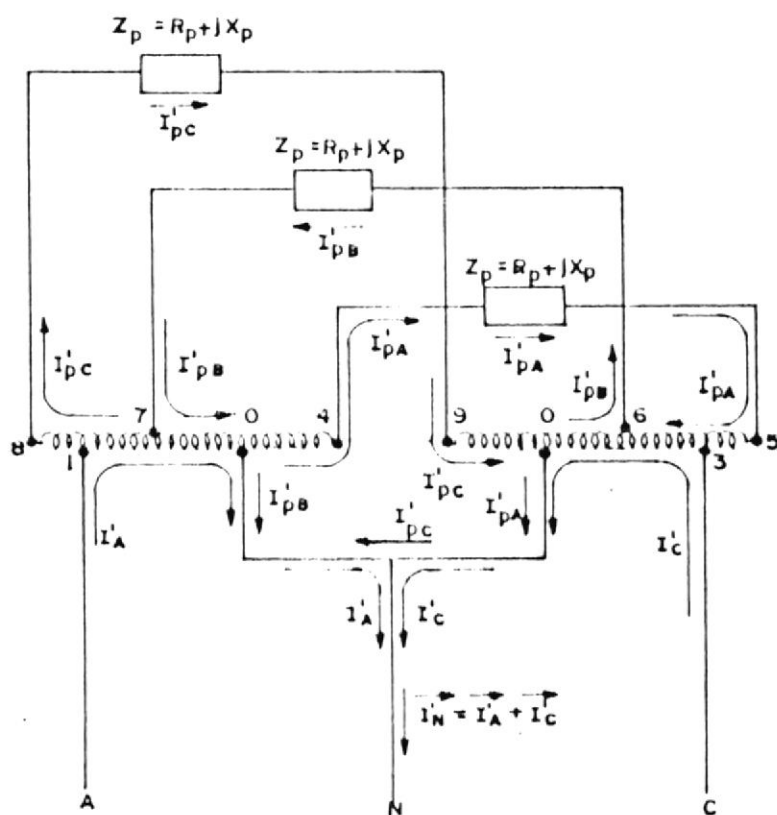


FIG. N° 2.14

CIRCUITO INDEPENDIENTE DE CORRIENTE DEL MEDIDOR DE KVAR Y DEL
 AUTOTRANSFORMADOR DESFASADOR
 (TRES TP)

$$I_A' = \frac{S_P}{V} \cdot \sqrt{3} \cos(30^\circ - \theta_P) \quad I_C' = \frac{S_P}{V} \cdot \sqrt{3} \cos(90^\circ - \theta_P)$$

Con estas corrientes y a partir de la Figura 2.10 podemos determinar las corrientes en los conductores, así:

$$I_A = I_{PA} + I_{AA} + I_A' \quad (15)$$

$$I_B = I_{PB} \quad (16)$$

$$I_C = I_{PC} + I_{CC} + I_C' \quad (17)$$

$$I_H = I_A + I_B + I_C \quad (18)$$

Con la ayuda de la Figura 2.15 y la Figura 2.16, proyectamos V_A en la dirección y perpendicularmente a I_A , tenemos:

$$V_{Ax} = r I_A + r I_H \cos \alpha$$

$$V_{Ay} = r I_H \sin \alpha$$

Por lo tanto:

$$V_A = r \sqrt{I_A^2 + I_H^2 + 2 I_A I_H \cos \alpha} \quad (19)$$

De la Figura 2.17, con proyecciones semejantes hechas para V_A , tenemos:

$$V_C = r \sqrt{I_C^2 + I_H^2 + 2 I_C I_H \cos \beta} \quad (20)$$

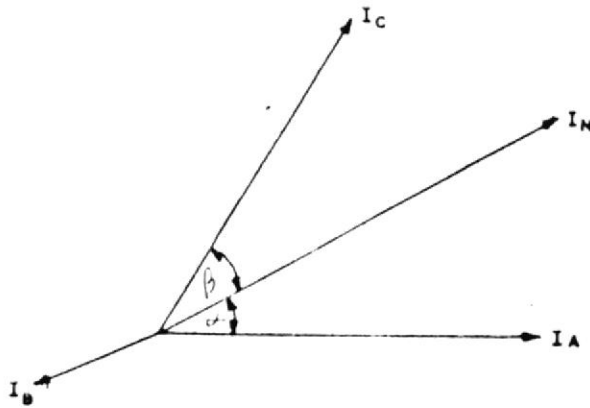


FIG. N° 2.15

DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE EN CONDUCTORES UTILIZADOS PARA MEDICION CON TRES ELEMENTOS, TRES TRANSFORMADORES DE POTENCIAL, UN AUTOTRANSFORMADOR DESFAZADOR.

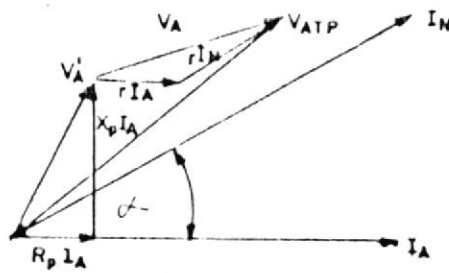


FIG. N° 2.16

DIAGRAMA FASORIAL DE TENSION EN PRIMER TRANSFORMADOR DE POTENCIAL. (TRES TP)

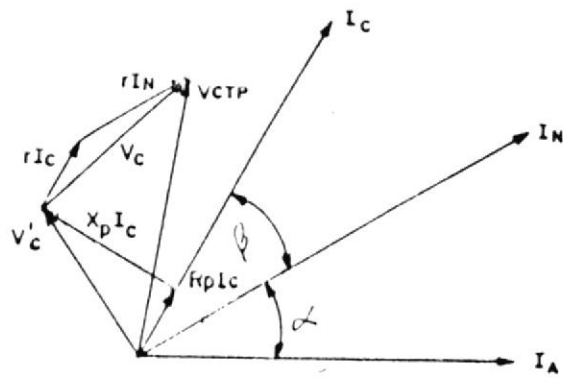


FIG. N° 2.17

DIAGRAMA PASORIAL DE TENSION EN TERCER TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
(TRES TP)

El menor valor de r es obtenido, cumpliéndose:

$$V_A \leq \% \text{ de } V_{ATP} \quad \text{y} \quad V_C \leq \% \text{ de } V_{CTP} \quad (21)$$

es el valor máximo de resistencia a ser considerado para el dimensionamiento del conductor.

En caso de tener dos conductores en paralelo como retorno, la corriente I_N provoca una caída de tensión igual a $r/2 \cdot I_N$, por lo que las ecuaciones 19 y 20 quedan así:

$$V_A = r \cdot \sqrt{I_A^2 + \frac{I_N^2}{4} + I_A I_N \cdot \cos \alpha} \quad (22)$$

$$V_C = r \cdot \sqrt{I_A^2 + \frac{I_N^2}{4} + I_C I_N \cdot \cos \beta} \quad (23)$$

2.2.2 Dimensionamiento de los conductores secundarios de los transformadores de potencial, medición con dos elementos.

En este párrafo se considera dos casos existentes en la práctica referentes al medidor de KVARH de 2 elementos, para circuitos de tres hilos.

1° CASO.

Medidor de KVARH, 2 elementos, 3 hilos, construidos específicamente para esta finalidad.

Vamos a tomar como base la medición con dos elementos considerando solo el circuito de tensión, tal como se muestra en la Figura 2.18 indicando la bobina de tensión; la resistencia del conductor y el autotransformador desfasador del medidor de kvarh, el cual es de tipo con desfasamiento interno de 60° , los cuales se determinó en el sub-párrafo 3.2.1.

El procedimiento es el mismo que en el caso anterior; así, de las Figuras 2.18 y 2.19, analizando los circuitos independientemente obtenemos las corrientes que circulan por los instrumentos de medición, siendo estas las siguientes:

$$I_{pA} = \frac{S_p}{V} \underline{30^\circ - \theta_p}$$

$$I_{pC} = \frac{S_p}{V} \underline{90^\circ - \theta_p}$$

$$I_{rA} = \frac{S_r}{V} \underline{-30^\circ - \theta_r}$$

$$I_{rC} = \frac{S_r}{V} \underline{90^\circ - \theta_r}$$

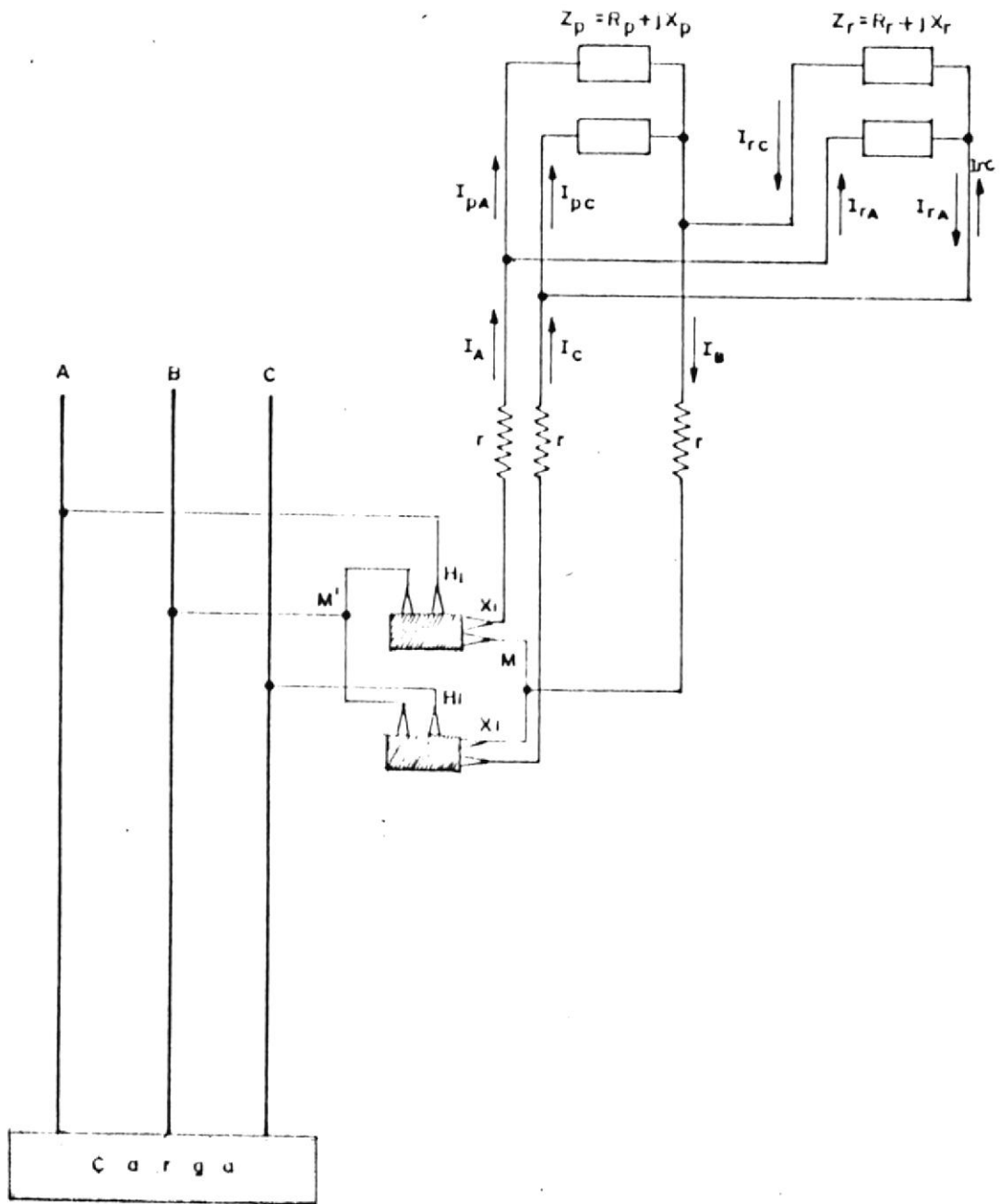


FIG N° 2.18

CIRCUITO DE CORRIENTE EN EL MEDIDOR DE KVWH DE DOS ELEMENTOS, DOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

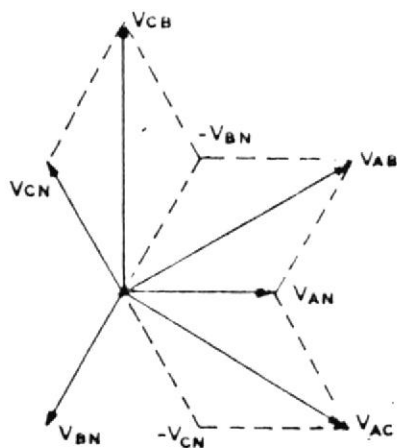


FIG. N° 2.19

DIAGRAMA FASORIAL EN LA MEDICION CON DOS ELEMENTOS.
(MEDIDORES DE KW. Y KVAR.)

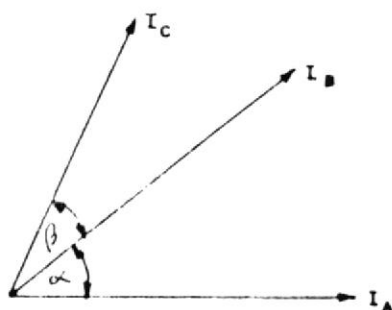


FIG. N° 2.20

DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE EN CONDUCTORES UTILIZADOS PARA LA
MEDICION CON DOS ELEMENTOS.
(MEDIDORES DE KW Y KVAR)

Con estas corrientes se determinan las corrientes en los conductores y con la ayuda del diagrama fasorial de la Figura 2.20, las caídas de tensión V_A y V_C son aproximadamente las mismas, obteniéndose Figuras idénticas y del mismo significado que las Figuras 2.16 y 2.17, por lo tanto, las caídas de tensión V_A y V_C , tienen unas expresiones idénticas, respectivamente, a las expresiones 19 y 20.

El menor valor de r obtenido, cumpliéndose la expresión 21, es el valor máximo de resistencia a ser considerado para el dimensionamiento del conductor.

En caso de tener dos conductores en paralelo, como retorno, la corriente I_B provoca una caída de tensión igual a $r/2 \cdot I_B$, obteniendo las expresiones de V_A y V_C respectivamente, idénticas a las expresiones 22 y 23.

2° CASO.

Medidor de KVARII idéntico al de KWII alimentado a través del autotransformador.

Vamos a tomar como base la medición con dos elementos, considerando solo el circuito de tensión, tal como se muestra en la Figura 2.21, indicando la impedancia de la bobina de tensión; la resistencia del conductor y el autotransformador desfasador más utilizado en la práctica para medición de KVARH en los circuitos de tres hilos, el cual es de tipo delta abierto, los cuales se determinó en el subpárrafo 3.2.1.

Analizando independientemente los circuitos con la ayuda de las Figuras 2.21, 2.22 y 2.23, podemos escribir las corrientes que circulan por los instrumentos de medición, siendo estas las siguientes:

$$I_{PA} = \frac{S_P}{V} \angle 30^\circ - \theta_P \qquad I_{PC} = \frac{S_P}{V} \angle 90^\circ - \theta_P$$

$$I_{dA} = \frac{S_d}{V} \angle 30^\circ - \theta_d \qquad I_{dC} = \frac{S_d}{V} \angle 90^\circ - \theta_d$$

$$I_{A'} = \frac{S_P}{V} \cdot \frac{\sqrt{7}}{\sqrt{3}} \angle -19,11^\circ - \theta_P \qquad I_{C'} = \frac{S_P}{V} \cdot \frac{\sqrt{7}}{\sqrt{3}} \angle 139,11^\circ - \theta_P$$

Con estas corrientes se determinan las corrientes que circulan por los conductores y con la

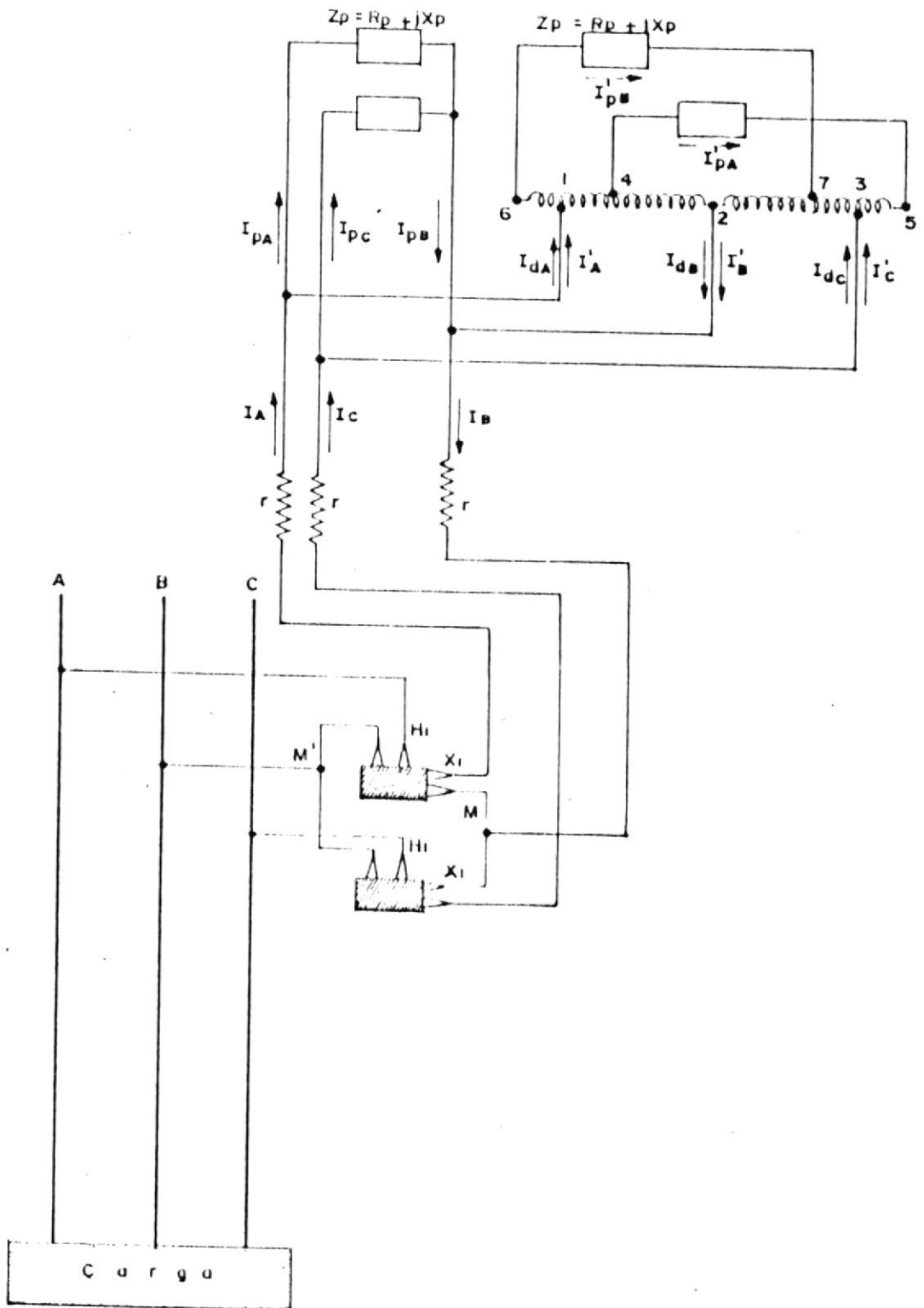


FIG N° 2.21

CIRCUITO DE CORRIENTE EN MEDIDORES DE KW Y KVAR CON DOS ELEMENTOS, DOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL, UN AUTOTRANSFORMADOR DESFASADOR.

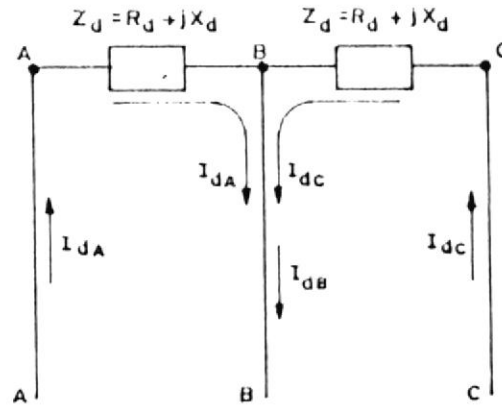


FIG. N° 2.22

CIRCUITO INDEPENDIENTE DE CORRIENTE DEL AUTOTRANSFORMADOR
DESPASADOR
(DOS TP)

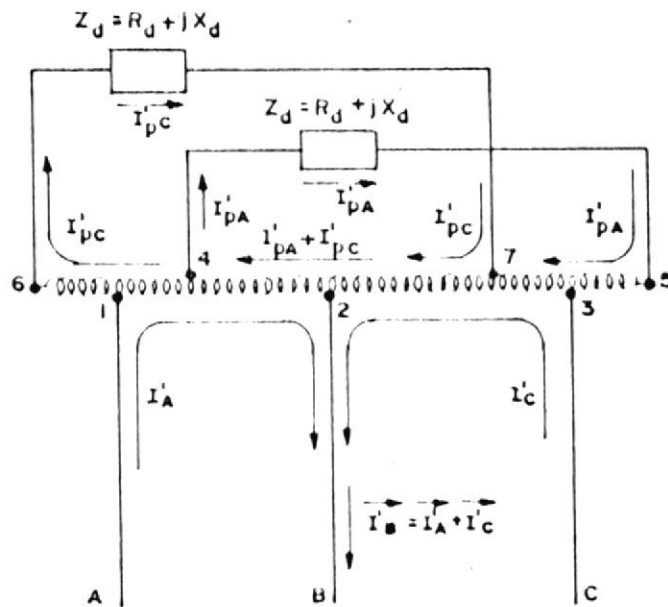


FIG. N° 2.23

CIRCUITO INDEPENDIENTE DE CORRIENTE DEL MEDIDOR DE KVAR Y DEL
AUTOTRANSFORMADOR DESPASADOR.
(DOS TP)

ayuda de la Figura 2.24, las expresiones de las caídas de tensión V_A y V_C son idénticas a las expresiones 19 y 20, respectivamente.

El menor valor de r obtenido cumpliendo la expresión 21, es el valor máximo de resistencia a ser considerado para dimensionar el conductor.

Si el retorno es hecho con dos conductores en paralelo, encontramos que las expresiones de las caídas de tensión de V_A y V_C son idénticas a las expresiones 22 y 23.

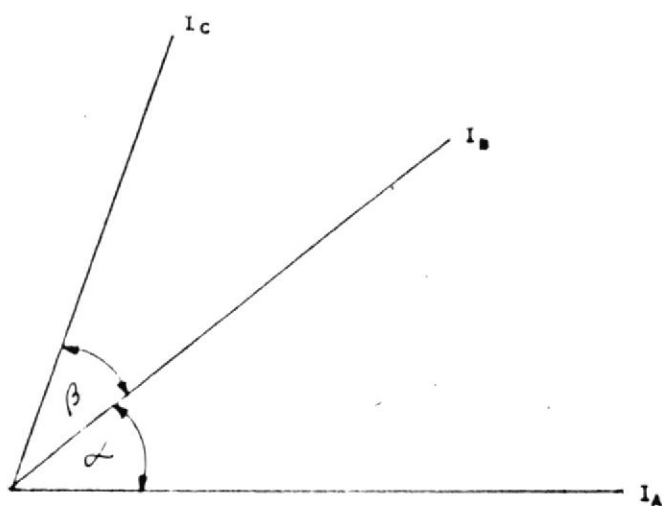
FIG. N^o 2.24

DIAGRAMA FASORIAL DE CORRIENTE EN CONDUCTORES UTILIZADOS PARA MEDICION
CON DOS ELEMENTOS (MEDIDOR DE KW. Y KVAR, AUTOTRANSFORMADOR)
(DOS TP)

CAPITULO 3

ANALISIS DE LAS FACTURAS DE ENERGIA ELECTRICA

La determinación de las pérdidas de energía eléctrica en una industria es iniciada con un análisis de las facturas mensuales de consumo. En ellas se evalúan las condiciones generales de utilización de energía eléctrica y se determinan las posibilidades de economía.

El primer paso consiste en conocer la tarifa que aplica la empresa eléctrica a la industria que va a ser analizada. Si se aplica una tarifa industrial artesanal (I A) (Ver ANEXO B), no será necesario desarrollar este Capítulo, debido a que su medición es directa, con un medidor sin registro de demanda, por lo cual el trabajo de levantamiento del potencial de energía eléctrica debe ser iniciado a partir del próximo Capítulo.

Si se aplica a la industria tarifa con demanda I, demanda II o para consumos estacionales (Ver ANEXO B), se realiza un análisis de acuerdo a la forma de facturamiento.

3.1 Sistema Tarifario.

El trabajo se inicia efectuando el levantamiento de las condiciones actuales de utilización de energía eléctrica, considerando el consumo histórico de 12 meses presentados en la " TABLA X ".

Luego se transcribe los siguientes valores, directamente de la planilla mensual:

- (1) Consumo, en KWH.
- (2) Demanda registrada, en KW (máxima registrada).
- (3) Demanda contratada, en KW (hecha por contrato).
- (4) Demanda facturada, en KW.
- (5) Factor de potencia ($\text{Cos } \phi$)(FP).
- (6) Ajuste debido al bajo factor de potencia, en sucres.
- (7) Factor de carga (FC): Calcular mes a mes este valor dividiendo la energía consumida en KWH (1) por la demanda registrada (2) y por 730 (que corresponde al número medio de horas de un mes), o escriba este valor directamente de las facturas si en ellos indica.

$$FC = \frac{\text{KWH}}{\text{KW} \times 730 \text{ h}} \quad (27)$$

Mes	ENERGIA ELECTRICA						
	(1) Consumo (C)	D E M A N D A			(5) Factor de Potencia (Cosφ) (FP)	(6) Ajuste de Factor de Potencia (S/.)	(7) Factor de Carga (FC)
		(2) Registrada (Dr)	(3) Contratada (Dc)	(4) Facturada (Df)			

TABLA X

CONDICIONES ACTUALES DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

3.1.1 Análisis del consumo de electricidad.

La factura mensual del sistema convencional es calculado teniendo en consideración dos cantidades: el consumo y la demanda.

La tarifa de consumos es aplicada directamente sobre la cantidad de energía eléctrica activa expresada en KWH, utilizada durante un periodo medio de 30 días. Esta fracción solamente puede ser reducida alterando la cantidad de energía eléctrica consumida, lo cual se puede lograr racionalizando el uso de los equipos eléctricos y de la iluminación o sustituyendo los equipos existentes por otros más eficientes. Este punto será abordado en los próximos Capítulos.

3.1.2 Análisis de la demanda.

Con relación a la demanda, que es medida en KW, la aplicación vigente establece que será considerado para efecto de facturamiento, el mayor valor de:

1. La demanda verificada por medición (demanda registrada);

2. La demanda fijada en el contrato de suministro.

Una industria esta trabajando adecuadamente, cuando el valor de la demanda facturada es igual a la demanda registrada, ya que estará pagando lo que realmente consume.

Si la industria presenta un valor de demanda facturada igual a la demanda contratada, esto significa que su contrato de suministro de energía eléctrica no es compatible con sus reales necesidades.

En caso de que la industria presente un valor de demanda facturada igual a 85% de la demanda máxima registrada en los últimos 11 meses, en alguno de estos meses debe existir un valor de demanda registrada anormal en la industria. Tal situación puede ocurrir por varias razones, entre ellas: aumento de producción, pruebas de equipos eléctricos, entrada en operación de equipos eléctricos nuevos, etc. Se debe verificar los meses en que esto ocurra, cuales fuerón las causas de esta elevación y procurar eliminar futuros problemas a través de la mejor

operación de las cargas instaladas.

· Para determinar el potencial de reducción con la demanda puede adoptarse la siguiente regla:

a) Seleccionar en la " TABLA X " los meses que presenten demanda registrada menor que demanda facturada e indicar en la " TABLA XI", en la columna denominada "MES".

b) Para los meses seleccionados, anotar los valores de demanda facturada y de demanda registrada, e indicar estos valores en las columnas denominadas "Df" y "Dr" respectivamente, en la " TABLA XI ".

c) Calcular el potencial de reducción de demanda en cada mes seleccionado, a través de la siguiente expresión:

$$Pr_d (KW) = D_f - D_r \quad (28)$$

donde:

Pr_d = Potencial de reducción de demanda.

D_f = Demanda facturada en cada mes.

Mes	Demanda Facturada Df (Kw)	Demanda Registrada Dr (Kw)	Potencial de Reducción de Demanda (Prd) (Kw)
Potencial de Reducción de Demanda (Medio) (Prd)			

T A B L A X I

POTENCIAL DE REDUCCION DE DEMANDA

Mes	Demanda Registrada Dr (Kw)	Demanda Registrada Nueva Dn (Kw)	Potencial de Reducción de Demanda (Prd) (Kw)
Potencial de Reducción de Demanda (Medio) (Prd)			

T A B L A X I I

POTENCIAL DE REDUCCION DE DEMANDA
CON MEJORIA DEL FACTOR DE CARGA

D_r = Demanda registrada en cada mes.

- d) Determinar el potencial de reducción de demanda medio sumando los valores obtenidos en cada mes y dividiendo el resultado por 12. Indicar este resultado al final de la " TABLA XI ".

3.1.3 Factor de Carga

Una manera de verificar si la energía eléctrica esta siendo consumida racionalmente consiste en evaluar, para cada mes, cual fue el factor de carga (FC) de la instalación (utilizar expresión 27).

Un factor de carga elevado, próximo a 1, indica que las cargas eléctricas fueron utilizadas racionalmente a lo largo del tiempo. Un factor de carga bajo indica que hubo concentración de consumo de energía eléctrica en un corto periodo de tiempo, determinando una demanda elevada, lo cual ocurre cuando muchos aparatos son conectados al mismo tiempo. Para evaluar el potencial de economía, en este caso se debe observar el comportamiento del factor de carga

e identificar el mes en que este factor presenta su valor máximo. Esto indica que se adopte, en aquel mes, una sistemática de operación que proporcione un uso más racional de energía. Por lo tanto sería posible repetir tal sistemática, con el fin de mantener el factor de carga en aquel mismo nivel todos los meses.

Para evaluar el potencial de economía de energía que puede ser obtenido con la mejora del factor de carga, adoptarse la siguiente regla:

- a) Verificar el mayor factor de carga obtenido en los últimos doce meses, y averiguar la causa que determinó tal valor y si este índice puede ser mantenido a lo largo de los meses.
- b) Determinar el potencial de reducción de demanda en función del mayor factor de carga, en caso de poder mantener el índice anteriormente mencionado. Para esto, calcular la nueva demanda que debería ser registrada en cada mes de manera a obtenerse el factor de carga máximo observado.

Observar que el consumo de energía de cada mes sea mantenido, una vez que la cantidad pueda ser considerada proporcional a la producción de la empresa. Utilize la siguiente expresión:

$$D_n = \frac{C_r}{FC_m \times 730} \quad (69)$$

donde :

D_n = Nueva demanda registrada.

C_r = Consumo registrado en un mes, conforme " TABLA X " .

FC_m = Mayor valor de factor de carga en los últimos 12 meses(constante).

c) Indicar los meses de referencia en la " TABLA XII " y transcriba los valores de "Dn" obtenidos.

d) Transcribir los valores de demanda registrada en cada mes de la " TABLA X " a la " TABLA XII " y calcular el potencial de reducción de demanda para cada mes, a través de la siguiente expresión:

$$P_r d = D_r - D_n \quad (30)$$

donde:

P_{rd} = Potencial de reducción de demanda (KW).

D_n = Nuevo valor de demanda registrada, si se tuviera un factor de carga igual al mayor valor encontrado en los últimos 12 meses (FC_m).

D_r = Demanda registrada en cada mes, conforme " TABLA X ".

- e) Determinar el potencial de reducción de demanda medio, sumando los valores obtenidos en cada mes y dividiendo el total por 12. Anotar este resultado al final de la " TABLA XII ".

3.1.4 Factor de Potencia.

Los aparatos eléctricos "inductivos", tales como motores de inducción, transformadores, equipos de soldadura, lámparas fluorescentes, anuncios de neón, hornos de inducción, etc., consumen una parte de la corriente que toman de la línea que los alimenta, siendo esta la corriente activa o productiva. El resto de la

corriente total sirve para alimentar los campos magnéticos del equipo y se conoce como corriente magnetizante reactiva o no productiva. Con la relación entre estos dos valores se determina el factor de potencia medio inductivo (FP) en un determinado periodo. Cuando el factor de potencia es bajo, surge una serie de inconvenientes tanto para la industria como para la empresa que suministra la energía eléctrica.

En razón de esto, la legislación del sector eléctrico prevé el cobro de un ajuste debido al bajo factor de potencia de aquellas industrias que presentan este factor inferior a 0.90. Si una industria tiene instalado capacitores para corregir el factor de potencia (Ver ANEXO C), no considerará este análisis. Cuando el factor de potencia es inferior a 0.90 se constituye en un gran potencial de economía para la industria, adoptando algunas medidas bastante simples.

Para el cálculo de este potencial de economía adoptar la siguiente regla:

- a) Verificar en la " TABLA X " los meses en que ocurre factor de potencia inferior a 0.90. Transcriba estos valores, con los respectivos ajustes en sucres, para la " TABLA XIII "
- b) Determinar el potencial de economía media mensual (PE) sumando los valores de "ajuste debido al bajo factor de potencia" y dividir este resultado por 12, anotando este valor al final de la " TABLA XIII " .

M e s	Factor de Potencia (FP) (Cos e)	Ajuste del Factor de Potencia (S/)
Potencial de Economía Medio Mensual (E)		

T A B L A XIII
POTENCIAL DE ECONOMIA DESIDO AL AJUSTE POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

CAPITULO 4

TRANSFORMADORES

Los transformadores son máquinas estáticas que transfieren energía eléctrica de un circuito a otro, manteniendo la misma frecuencia y, normalmente, variando valores de corriente y tensión. Esta transferencia de energía es acompañada de pérdidas que dependen de la construcción del transformador y de su régimen de funcionamiento.

Las principales pérdidas en los transformadores son las pérdidas de hierro y las de cobre. Las pérdidas de hierro son determinadas por el flujo establecido en el circuito magnético y son constantes para cada transformador; mientras que las pérdidas de cobre corresponden a la disipación de energía, por el Efecto Joule, determinada por las corrientes que circulan por los devanados del primario y secundario, y dependen de la carga eléctrica alimentada por el transformador.

Otro tipo de pérdidas que pueden ocurrir en transformadores conectados en paralelo, es aquella debida a la diferencia entre la relación de transformación de los equipos conectados en esta forma. Cuando esta relación presenta

diferencias significativas, ocurre una circulación de corriente entre los transformadores, provocando pérdidas que se pueden tornar importantes.

A continuación se presente un método para determinar el potencial de economía de energía que se puede obtener con el uso adecuado de los transformadores.

4.1 Pérdidas de Hierro.

Las pérdidas en el circuito magnético, conocidas como pérdidas de hierro o pérdidas en vacío o de excitación, incluyen:

1. Pérdidas por excitación y corrientes de circulación en el núcleo.
2. Pérdidas en el primario debidas a la corriente en vacío o de excitación.
3. Pérdidas dieléctricas en los aislamientos.

Se estiman para una frecuencia y tensión determinada y son prácticamente constantes con cualquier carga. Se consideran constantes para las temperaturas normales de funcionamiento porque mientras las pérdidas en el núcleo disminuyen muy lentamente al aumentar la temperatura, las pérdidas producidas por la corriente

en vacío y las dieléctricas son muy pequeñas comparadas con las primeras, aumentan rápidamente con la temperatura.

Una manera de reducir el consumo de energía eléctrica provocada por las pérdidas de hierro, sería desconectar de la red los transformadores durante el cese de actividades de la fábrica. En muchos casos se puede tornar interesante disponer de un transformador de menor capacidad, para alimentar exclusivamente la iluminación de la industria, de manera que pueda mantenerse conectado, por ejemplo, para la ejecución de los servicios de limpieza y vigilancia en horarios en que la empresa no estuviera en funcionamiento.

Para determinar el potencial de economía debido a este tipo de medida, puede adoptarse la siguiente regla:

- a) Identificar los transformadores existentes en la industria y anotar sus datos nominales (P_n y V) en la " TABLA XIV ". La Potencia nominal (P_n) y la tensión (V) pueden ser encontradas en la placa del equipo.

- b) Consultar las características de cada uno de los

TRANSFORMADOR	Potencia Nominal P_n (KVA)	Férdidas de Hierro p_h (W)	Férdidas Totales P_T (W)	Voltaje Nominal V (Volt)

T A B L A X I V
CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LOS TRANSFORMADORES

transformadores y verificar el valor de sus pérdidas de hierro (p_h) y las pérdidas totales (p_r). Anotar estos valores en la " TABLA XIV ". En caso de no disponer de los datos de los transformadores, utilice como referencia los valores mostrados en la TABLA XV, para varias potencias.

c) Analizar los circuitos que son alimentados por los transformadores y verificar si es posible desconectar cada transformador en horarios en que no se solicite su energía, o cuando su carga sea pequeña y pueda ser transferida para otro transformador. En caso de poder realizarse lo anterior, se debe estimar la cantidad de horas (h) en que puede desconectarse el transformador y transcriba este valor en la " TABLA XVI ".

d) Transcribir el valor de las pérdidas de hierro de cada transformador en la " TABLA XVI " y determinar el potencial de economía de energía a partir de la siguiente expresión:

$$PE = \frac{p_h \times h}{1.000} \quad (31)$$

donde:

POTENCIA (KVA)	PERDIDAS DE HIERRO (p _n) (W)	PERDIDAS TOTALES (p _T) (W)
15	120	460
30	200	770
45	260	1.040
75	390	1.530
112,5	520	2.070
150	640	2.550
225	900	3.600
300	1.120	4.480
500	1.350	6.700
750	1.500	13.500
1.000	1.900	16.500
1.500	2.500	25.000
2.000	3.900	25.100
3.000	4.900	31.700

TABLA XV

PERDIDAS EN TRANSFORMADORES CONFORME NORMAS ABNT

P_E = Potencial de economía de energía debido a las pérdidas de hierro (KWH/mes).

P_h = Pérdidas de hierro (Vatios).

h = Número medio mensual de horas desconectadas del transformador.

- e) Sumar los valores de economía encontrados y anotar este dato al final de la " TABLA XVI ".

4.2 Pérdidas de Cobre. ✓

Las pérdidas en el transformador debido al Efecto Joule conocidas como pérdidas de cobre, son las mayores y se denominan también pérdidas en carga o cortocircuito e incluyen:

1. Pérdidas (I^2R) debidas a la resistencia en corriente continua de los arrollamientos.
2. Pérdidas originadas por dispersión del flujo magnético a través de los devanados mismos, piezas de fijación del núcleo y otras partes del transformador tales como piezas de presión, cajas, tapas, etc. y además por corrientes circulatorias en los

conductores de los devanados conectados en paralelo.

Una manera de reducir el consumo de energía eléctrica por Efecto Joule, cuando se utilizan varios transformadores, es redistribuir las cargas de modo de optimizar las cargas medias de cada uno de los transformadores, reduciendo la corriente eléctrica máxima de aquellos que están muy cargados y aumentando la corriente máxima de los que están con poca carga.

Para determinar el potencial de economía que se puede obtener con esta medida puede adoptarse la siguiente regla:

- a) Determinar las pérdidas de cobre de cada uno de los transformadores cuando estos operan a plena carga, efectuando la siguiente diferencia:

$$p_c = p_T - p_h \quad (32)$$

donde:

p_c = Pérdidas de cobre del transformador (Vatios).

p_T = Pérdidas totales (Vatios).

p_h = Pérdidas de hierro (Vatios).

Anotar este valor en la " TABLA XVII " .

NOTA: Las pérdidas totales presentadas para un transformador incluyen, también, otros tipos de pérdidas además de las de cobre. Para efectos prácticos no consideramos tales valores, asumiendo que solamente ocurren pérdidas de cobre y de hierro.

- b) Calcular la corriente nominal del transformador utilizando la siguiente expresión:

$$I_n = \frac{P_n \times 1.000}{\sqrt{3} \times V} \quad (33)$$

donde:

I_n = Corriente nominal del transformador (Amperios).

P_n = Potencia nominal del transformador (KVA).

V = Tensión nominal secundaria del transformador (Voltios).

Anotar este valor en la " TABLA XVII " .

- c) Medir la corriente secundaria del transformador (I_a) para diversos horarios del día y determinar

TRANSFORMADOR	Pérdidas de Cobre $p_c (W)$	Corriente Nominal $I_n (Amp)$	Corriente Actual $I_a (Amp)$	Corriente Nueva $I' (Amp)$	Reducción de Pérdidas $R (W)$	Horas de Funcionamiento $h (h / mes)$	Potencial de Economía $PE (KWH/mes)$
Potencial de Economía Medio Mensual (PE)							

TABLA XVII
 POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA EN LAS PERDIDAS DE COBRE.

el valor de la corriente media que circula en cada transformador. Indicar este valor en la " TABLA XVII ".

- d) Analizar la carga de cada transformador y verificar la posibilidad de balancear las cargas por ellos alimentados, de modo de reducir las cargas de aquellos que más solicitan y aumentar los menos cargados.
- e) En estas condiciones determinar el nuevo valor de las corrientes medias (I') de cada transformador y anotar en la " TABLA XVII ".
- f) Calcular la reducción de pérdidas que puede ser obtenidas adoptando esta medida con la siguiente expresión:

$$R = p_c \frac{(I_a - I')}{I_a} \quad (34)$$

donde:

R = Reducción de pérdidas de cobre del transformador (Vatios).

p_c = Pérdidas de cobre del transformador (Vatios).

I' = Corriente secundaria del transformador después del balanceamiento de carga (Amperios).

I_a = Corriente secundaria del transformador en la configuración actual (Amperios).

Observar que, cuando se aumenta la carga del transformador, las pérdidas de cobre serán mayores y el valor de reducción aparecerá con signo negativo. Anote este valor, con los respectivos signos algebraicos, en la " TABLA XVII ".

g) Estimar el número medio mensual de horas de funcionamiento de cada uno de los transformadores (h) y anote este valor en la " TABLA XVII ".

h) Calcular el potencial de economía de energía a ser obtenido con la reducción de las pérdidas de cobre, utilizando la siguiente expresión:

$$PE = \frac{R \times h}{1.000} \quad (35)$$

donde:

PE = Potencial de economía con la reducción de pérdidas de cobre (KWH/mes).

R = Reducción de pérdidas de cobre del transformador (Vatios).

h = Número medio mensual de horas de funcionamiento del transformador (h).

- i) Efectuar la suma algebraica de las economías encontradas y anote este total al final de la " TABLA XVII ".

4.3 Pérdidas en transformadores conectados en paralelo.

Frecuentemente se utilizan la conexión de dos o más transformadores en paralelo en las fábricas para atender varias cargas del mismo voltaje secundario. En este caso se debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. Dos transformadores monofásicos funcionan en paralelo si están conectados con la misma polaridad. Dos transformadores trifásicos funcionan en paralelo si tienen la misma disposición de devanados (por ejemplo, estrella-triángulo), están conectados con la misma polaridad y tienen la misma secuencia de rotación de fases.

2. Si dos transformadores (o dos bancos de transformadores) tienen la misma tensión nominal, las mismas relaciones de espiras, las mismas impedancias en porcentaje, y las mismas relaciones entre reactancia y resistencia, se repartirán la corriente de carga proporcionalmente a sus potencias nominales, sin diferencia de fase entre las corrientes de los transformadores.

Para determinar las pérdidas de energía en una conexión de transformadores en paralelo puede adaptarse la siguiente regla:

- a) Determinar las pérdidas de cobre (p_c) y la corriente nominal (I_n) para cada uno de los transformadores cuando están operando a plena carga, conforme lo detallado en los literales a y b respectivamente, del párrafo 4.2, y anotar estos valores en la " TABLA XVIII ".
- b) Medir la corriente secundaria en cada transformador (I_s), con todas las cargas desconectadas, y anote este valor en la " TABLA XVIII ".
- c) Calcular la reducción de pérdidas de cobre que

ocurren en cada uno de los transformadores con la siguiente expresión:

$$R = p_c \frac{I_s}{I_n} \quad (36)$$

donde:

R = Reducción de pérdidas que ocurren en el cobre, debido a la corriente resultante de la conexión en paralelo (Vatios).

p_c = Pérdidas nominales de cobre del transformador (Vatios).

I_s = Corriente secundaria del transformador sin carga (Amperios).

I_n = Corriente nominal del transformador (Amperios).

d) Estimar el número medio mensual de horas de funcionamiento de los transformadores conectados en paralelo (h) y anotar este valor en la " TABLA XVIII ".

e) Calcular el potencial de economía mensual de energía, en cada transformador, debido a la conexión en paralelo usando la siguiente expresión:

$$P_E = \frac{R \times h}{1.000} \quad (37)$$

donde:

P_E = Potencial de economía de energía de cada transformador debido a la conexión en paralelo (KWHh/mes).

R = Reducción de pérdidas que ocurren en el cobre del transformador conectados en paralelo (Vatios).

h = Número medio mensual de horas de funcionamiento del transformador en paralelo.

f) Efectuar la suma de las pérdidas de energía verificadas en los transformadores y anotar el total en el final de la " TABLA XVIII ".

CAPITULO 5

CIRCUITOS DE DISTRIBUCION

En los circuitos de distribución las pérdidas de energía más significativas son provocadas por el Efecto Joule, debido al transporte de la corriente eléctrica.

Estas pérdidas son afectadas directamente por el nivel de tensión utilizado, por la sección de los conductores existentes y por la ubicación de los transformadores reductores de voltaje. El correcto dimensionamiento de lo anteriormente mencionado puede representar ganancias significativas de energía.

5.1 Utilización de nivel de tensión adecuado.

Las pérdidas por disipación de calor en un conductor ($I^2 R$) son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente transportada. A su vez esta corriente es inversamente proporcional al voltaje ($P = IV$). Por tanto, cuanto mayor sea el nivel de voltaje utilizado, menores serán las corrientes circulantes y por ende menores las pérdidas de energía por disipación de calor. Este y otros factores han motivado que

nuevos sistemas de distribución de energía se utilizan con niveles de voltaje a 440 Voltios y superiores, reemplazando los tradicionales sistemas a 220 Voltios.

Para cuantificar el potencial de economía de energía (PE) que se puede alcanzar con la optimización del nivel de tensión se debe adoptar los siguientes pasos:

- a) Verificar los niveles de tensión utilizados con mayor frecuencia en las instalaciones de la industria. Si la tensión patrón en la empresa es 380 Voltios o 440 Voltios no habrá potencial significativo de economía de energía en este párrafo. En este caso una de las pocas economías reside en la utilización de equipos alimentados directamente en alta tensión, como por ejemplo, un motor eléctrico de 500 HP alimentado a 7.800 Voltios. Anote la tensión (V_1) de cada circuito en la " TABLA XIX "
- b) Verificar que los transformadores de la industria puedan suministrar otros niveles de tensión, como por ejemplo 380 Voltios o 440 Voltios.
- c) Verificar que en la empresa existan equipos que

puedan ser alimentados directamente en tensión superior a la actualmente utilizada.

- d) Identificar los circuitos de distribución de la industria que alimentan tales equipos y observar si es posible alterar su tensión de alimentación. Algunas veces esto se puede realizar efectuando un balanceamiento de algunas cargas cuya tensión de alimentación no puede ser modificada. Para los circuitos que admiten alteración anote el nuevo valor de tensión (V_2) adecuado en la " TABLA XIX "

- e) Medir la corriente media (I_2) que circula en los conductores con la nueva tensión adoptada, utilizando la siguiente expresión:

$$I_2 = \frac{V_1 \times I_1}{V_2} \quad (38)$$

donde:

I_1 = Corriente que actualmente tiene el circuito (Amperios).

I_2 = Corriente que circula en el circuito con la nueva tensión (Amperios).

V_1 = Tensión actual (Voltios).

V_2 = Nueva tensión a ser utilizada (Voltios).

Anotar el valor de I_2 en la " TABLA XIX ".

- f) Verificar la sección (S), en mm², de los conductores utilizados en el circuito y anotar en la " TABLA XIX ".
- g) Determinar la longitud (d), en Km, del circuito y anotar en la " TABLA XIX ".
- h) Determinar las pérdidas por Km de p_1 y p_2 debidas al Efecto Joule en el circuito de distribución, antes y después del cambio de tensión, respectivamente, utilizando la Figura 5.1, 5.2 o 5.3, que alimentan directamente y el valor medio de pérdidas por KW/Km en función de la corriente y de la sección del conductor.
- i) La reducción de las pérdidas que pueden ser obtenida con el cambio de tensión son:

$$R = (p_1 - p_2) \times d \times N \quad (\text{KW}) \quad (39)$$

donde:

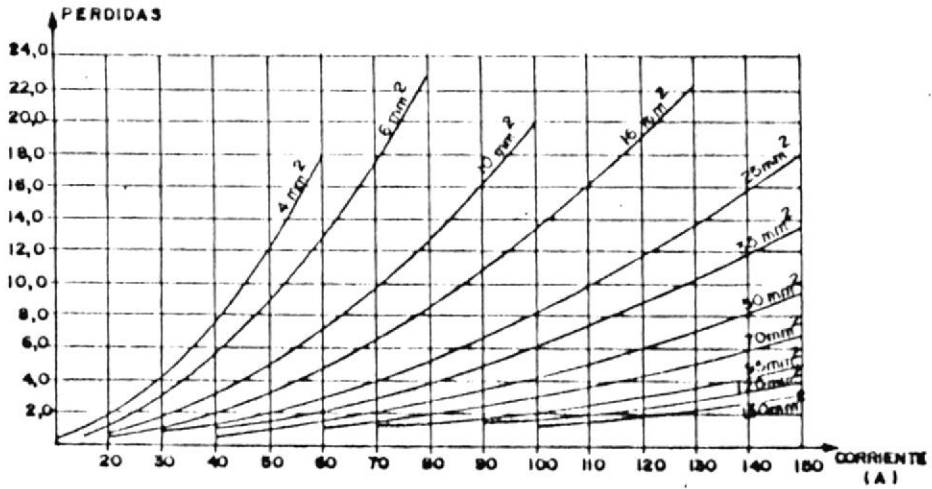


FIG. 5.1
 PERDIDAS EN CONDUCTORES POR EFECTO JOULE (KW/Km.)

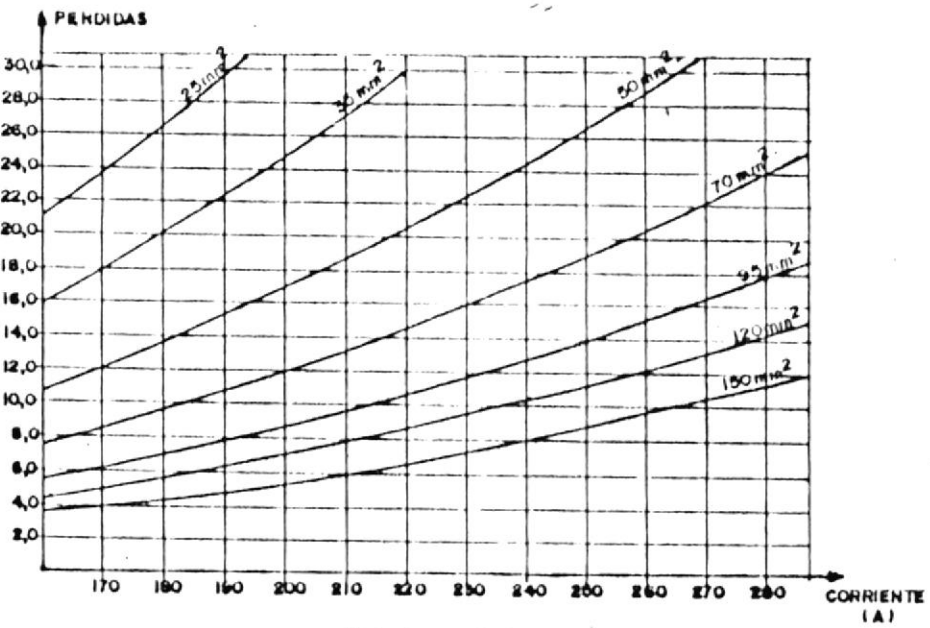


FIG. 5.2
 PERDIDAS EN CONDUCTORES POR EFECTO JOULE (KW/Km.)

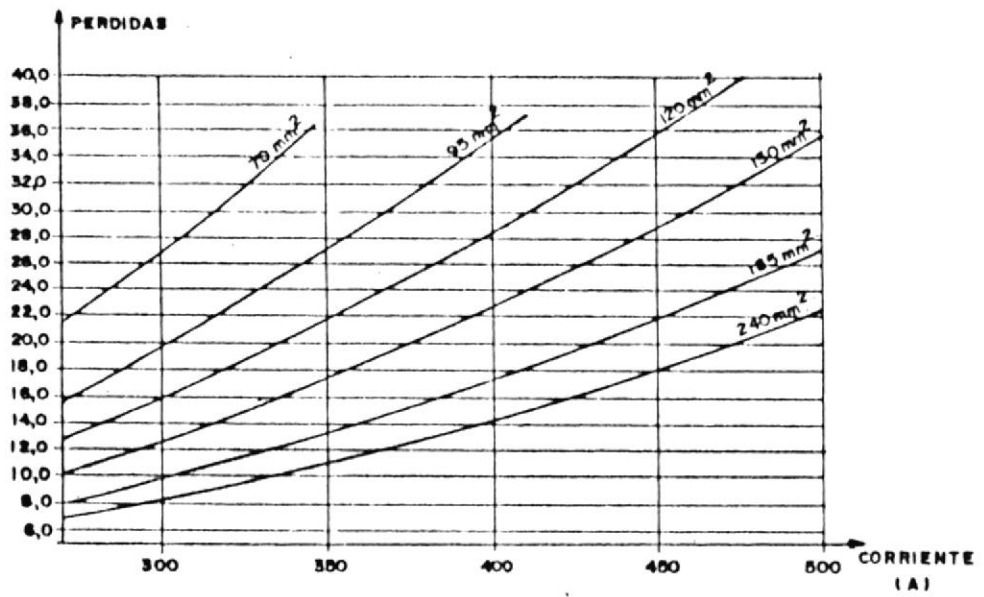


FIG. 5.3

PERDIDAS EN CONDUCTORES POR EFECTO JOULE (KW/Km)

- R = Reducción de pérdidas.
- p_1 = Pérdidas en los conductores, en KW/Km, cuando circula la corriente I_1 .
- p_2 = Pérdidas en los conductores, en KW/Km, cuando se altera el nivel de tensión.
- d = Longitud del circuito en Km.
- N = Número de conductores del circuito.

Anotar el valor de R en la " TABLA XIX ".

- j) Estimar el tiempo medio de operación de cada circuito en horas por mes (h) y anotar en la " TABLA XIX ".
- k) Calcular el potencial de economía de energía (P_E) de la siguiente manera:

$$E = R \times h \quad (\text{KWH/mes}) \quad (40)$$

Anotar este valor en la " TABLA XIX ".

- l) Terminado el análisis de todos los circuitos, totalizar el potencial de economía (P_E).

5.2 Localización de los transformadores.

Los transformadores deben estar localizados, siempre que es posible, en un punto donde se optimice la longitud de los circuitos en baja tensión con las pérdidas de la instalación (baricentro eléctrico de la instalación). La ubicación ideal es que existan, en una industria, varios transformadores localizados lo más próximo posible de las mayores cargas a alimentar. Cuanto menor la distancia a ser transmitida las mayores corriente, menores serán las pérdidas por el Efecto Joule.

Para cuantificar el potencial de economía de energía en la reubicación de los transformadores deben adoptarse los siguientes pasos:

- a) Identificar los circuitos de distribución de mayor longitud y que alimentan potencias significativas, verificando la existencia de un lugar más próximo para la nueva instalación de un nuevo transformador o reubicación de otro existente.
- b) Medir la corriente media (I) que circula por los conductores del circuito de distribución y anotar en la " TABLA XX ".

- c) Verificar la sección (S) de los conductores del circuito de distribución, en mm², y anotar en la " TABLA XX ".
- d) Medir la distancia actual (d₁), en Km, del transformador a las cargas y transcribir en la " TABLA XX ".
- e) Verificar la distancia nueva (d₂), en Km, a la que estará el transformador de la carga después del cambio de lugar, anotando los valores encontrados en la " TABLA XX ".
- f) Determinar las pérdidas por el Efecto Joule, antes y después del cambio de sitio del transformador, utilizando la Figura 5.1, 5.2 o 5.3 que proporcionan directamente el valor medio de las pérdidas en los conductores, en KW/Km, en función de la corriente media (I) y sección (S) del conductor utilizado.
- g) La reducción de las pérdidas puede ser calculada a partir de la siguiente expresión:

$$R = (d_1 - d_2) \times p \times N \quad (41)$$

donde:

R = Reducción de las pérdidas debido a la reubicación de los transformadores (KW).

p = Pérdida en el conductor en función de la corriente (KW/Km).

d₁ = Distancia entre el transformador y la mayor carga del circuito antes de la reubicación del transformador.

d₂ = Distancia entre el transformador y la mayor carga del circuito después de la reubicación del transformador.

N = Número de conductores del circuito.

Anotar este valor en la " TABLA XX ".

h) Estimar el tiempo medio de operación de cada circuito en horas por mes (h).

i) Calcular el potencial de economía de energía (PE) para cada circuito utilizando la expresión 40. Luego sumar los valores encontrados y transcribirlo al final de la " TABLA XX ".

5.3 Dimensionamiento adecuado de los conductores.

El dimensionamiento de los conductores es hecho, normalmente, por los criterios de capacidad de conducción de corriente y por la caída de tensión en función de la distancia. Así, a través de normas y tablas de los fabricantes de los conductores, con la corriente que circula en un circuito, con el tipo de instalación de los conductores y la longitud del circuito, se determina la sección del conductor a ser utilizado.

Cuando la corriente que se va a transportar en un circuito está próxima al límite de conducción del conductor, se debe utilizar un conductor de sección normalizado mayor de la sección encontrada.

Naturalmente no se recomienda sustituir sistemáticamente un conductor existente por otro de mayor sección. Lo importante, en caso de instalaciones existentes, es reducir la corriente que circula en cada circuito, especialmente en aquellos de mayor longitud. Para esta situación, una de las soluciones posibles es redistribuir las cargas de los circuitos disponibles o también construyendo nuevos circuitos, aliviando de esta manera la carga de los demás.

Para determinar el potencial de economía de energía que esta medida puede proporcionar, se puede adoptar el siguiente orden:

- a) Identificar los circuitos de distribución de mayor longitud y que transportan mayores corrientes.
- b) Medir la corriente media (I_1), que circulan en los conductores del circuito, y anotar este valor en la " TABLA XXI ".
- c) Verificar la sección (S_1), en mm², de los conductores que están siendo utilizados y transcribir este valor en la " TABLA XXI ".
- d) Determinar las pérdidas por el Efecto Joule de cada uno de los circuitos identificados (p_1), utilizando la Figura 5.1, 5.2 o 5.3.
- e) Medir la distancia (d_1), en Km, desde la fuente de alimentación hasta la carga y anotar en la " TABLA XXI ".
- f) Verificar la posibilidad de distribuir las cargas para circuitos de menor carga.

- g) Verificar la posibilidad de substituir los conductores de mayor carga por otros de mayor sección.
- h) Verificar la posibilidad de construir nuevos circuitos para aliviar la carga de otros circuitos.
- i) Con la configuración final del circuito determinar los nuevos valores de corriente media (I_2) si es el caso, la sección (S_2) del conductor y la distancia (d_2) y transcribir estos valores en la " TABLA XXI ".
- j) Determinar el nuevo valor de pérdida (p_2), en KW/Km, utilizando la Figura 5.1, 5.2 o 5.3.
- k) Calcular la reducción de pérdidas, adoptando la siguiente expresión:

$$R = (p_1 \times d_1 - p_2 \times d_2) \times N \quad (42)$$

donde:

R = Reducción de pérdidas a partir del dimensionamiento adecuado de los conductores (KW).

p_1 = Pérdidas en el circuito actual (KW/Km).

d_1 = Longitud del circuito actual (Km).

CIRCUITO	Corriente Actual I_1 (Amp)	Corriente Nueva I_2 (Amp)	Longitud del Actual del Conductor d_1 (Km)	Longitud Nueva del Conductor d_2 (Km)	Sección Actual del Conductor S_1 (mm ²)	Sección Nueva del Conductor S_2 (mm ²)	Horas de Funcionamiento h (h/mes)	Reducción de Perdidos R (W)	Potencial de Economía PE (KWH/mes)
Potencial de Economía Media Mensual (PE)									

T A B L A X X I
 POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA CON EL DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE LOS CONDUCTORES

p_2 = Pérdidas de la nueva configuración (KW/Km).

d_2 = Longitud del nuevo circuito (Km).

N = Número de conductores del circuito.

Transcribir el valor de R en la " TABLA XXI ".

l) Estimar el tiempo medio de operación de los circuitos (h), en horas/mes, y transcribir este valor en la " TABLA XXI ".

m) Calcular el potencial de economía de energía (PE), a partir de la expresión 40. Sumar los valores encontrados y transcribirlo al final de la " TABLA XXI ".

CAPITULO 6

MOTORES

Una de las aplicaciones más comunes de la electricidad en una industria es la producción de energía mecánica a través de motores. A pesar de su elevada eficiencia, estos aparatos no siempre son perfectamente compatibles con la tarea que ejecutan y, muchas veces, no son utilizados de manera racional y eficiente. Existe, por lo tanto, en esta aplicación, un significativo potencial de economía de electricidad. Para su determinación dividimos este análisis en dos párrafos: dimensionamiento de los motores y utilización racional de los equipos.

6.1 Dimensionamiento de los motores.

Dentro de los varios tipos de motores que existen en el mercado, nos interesan particularmente los motores de inducción, por ser estos los más frecuentemente encontrados.

Las curvas características de tales motores muestran que su rendimiento y factor de potencia varían de acuerdo a la carga. Cuanto menor la potencia solici-

tada, tanto menores serán estas cantidades y, consecuentemente, su operación se torna menos eficiente.

No siempre es posible ajustar la potencia del motor en aquella efectivamente necesaria, debido muchas veces, el régimen de funcionamiento y carga de las máquinas es variable. Por otro lado, una práctica muy común en una industria es el sobredimensionamiento de los motores que los lleva a trabajar ineficientemente, aumentando innecesariamente su consumo de energía.

Para determinar el potencial de economía de energía que puede ser obtenido con los motores adoptar el siguiente orden:

- a) Listar los motores de potencia más significativa existentes en la industria, anotando su potencia nominal (P_n), y tensión de operación (V), en la " TABLA XXII ".
- b) Medir la corriente media (I) de cada uno de los motores en las condiciones normales de trabajo del equipo. Anote estos valores en la " TABLA XXII ".
- c) Consultar la curva característica de funcionamien-

to de cada uno de los motores seleccionados, encontrando los valores de factor de potencia ($\text{Cos}\phi$) y rendimiento (n) en porcentaje (%) para la corriente medida. En caso de no disponer de la curva característica de los motores, la cual puede ser suministrada por el fabricante, utilizar las Figuras 6.1 hasta 6.16, que muestran curvas indicativas para varias potencias de motor. Anote estos valores en la " TABLA XXII ".

- d) Calcular la potencia activa del motor (P_a) utilizando la siguiente expresión:

$$P_a = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi \quad (43)$$

donde:

P_a = Potencia activa del motor (Vatios).

V = Tensión de operación del motor (Voltios).

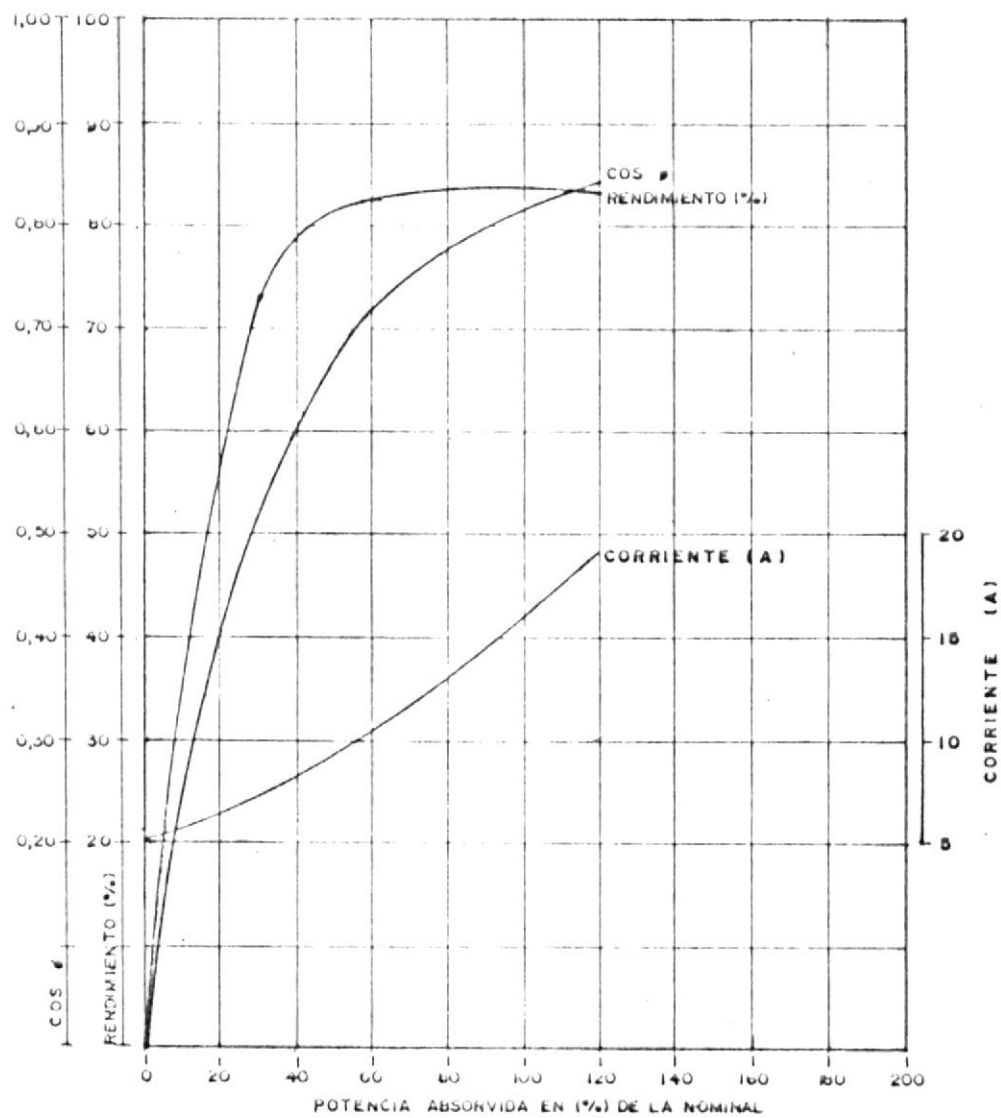
I = Corriente medida del motor (Amperios).

- e) Calcular la Potencia útil del motor P_u , en HP, efectuando el producto de la potencia activa por el rendimiento del motor y dividiendo por el factor de conversión respectivo:

$$P_u = \frac{P_a \times n}{736} \quad (44)$$

Anotar este valor en la " TABLA XXII ".

- f) Verificar el dimensionamiento de los motores observando la potencia útil (P_u) y la potencia nominal (P_n) del motor. El cuociente entre las dos cantidades indicarlo en la " TABLA XXII ".
- g) Analizar los valores obtenidos, seleccionando los inferiores a 0.7 ya que para valores superiores al indicado se puede considerar que el motor esta compatible para la labor que ejecutan, no habiendo potencial de economia de energia.
- h) Transcribir en la " TABLA XXIII " los motores seleccionados en el literal anterior, anotando su respectiva potencia útil (P_u).
- i) Consultar las curvas características de un fabricante de su elección y seleccione un motor con potencia nominal próxima a la potencia útil (P_u). Si no se dispone de estas curvas utilizar las Figuras 6.1 hasta 6.16 como indicativos.
- j) Anotar en la " TABLA XXIII " el valor de la poten-



.FIG. 6.1

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 5 CV FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts POLOS : 4

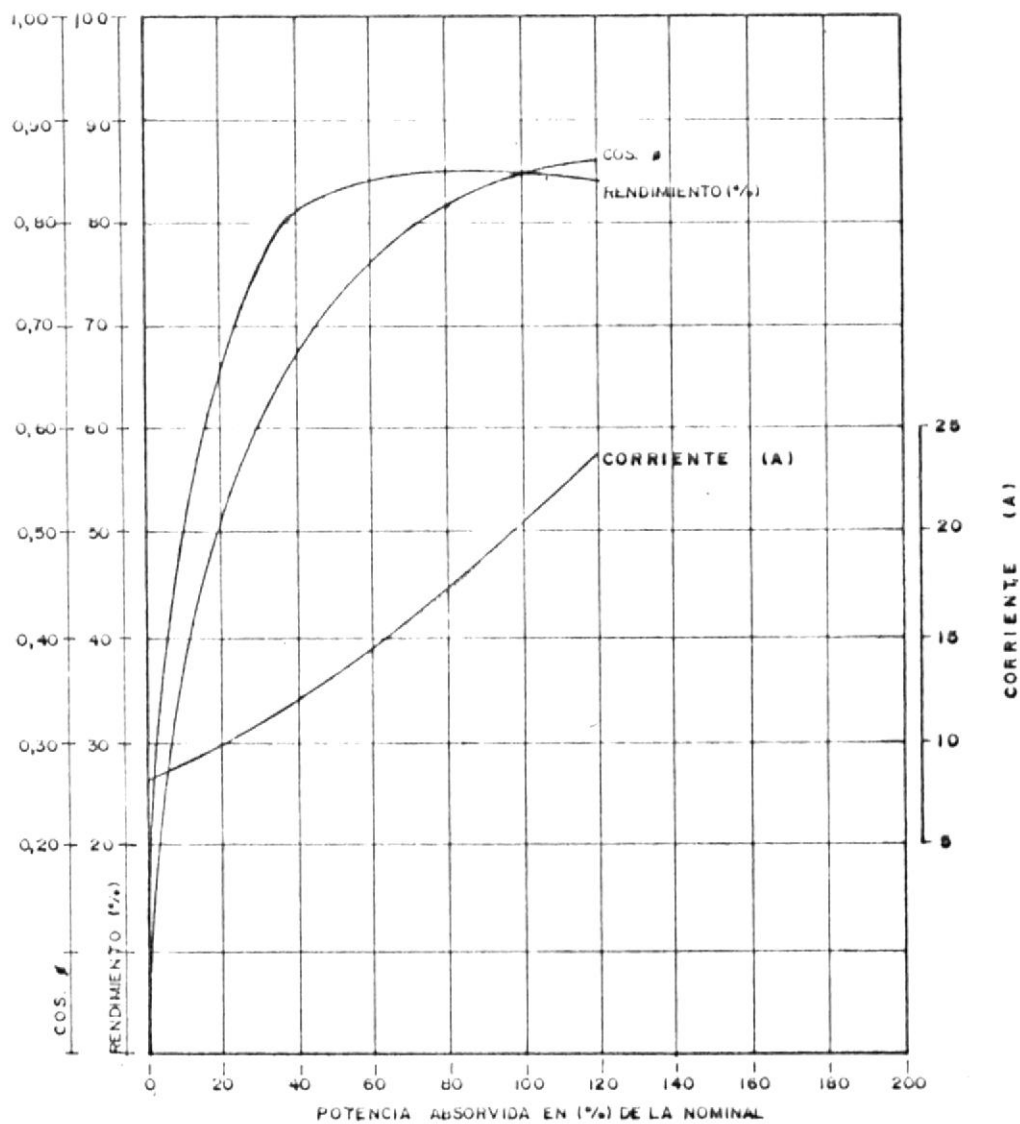


FIG. 6.2

**CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.**

POTENCIA : 7.5 CV.

FRECUENCIA : 60 HZ.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4

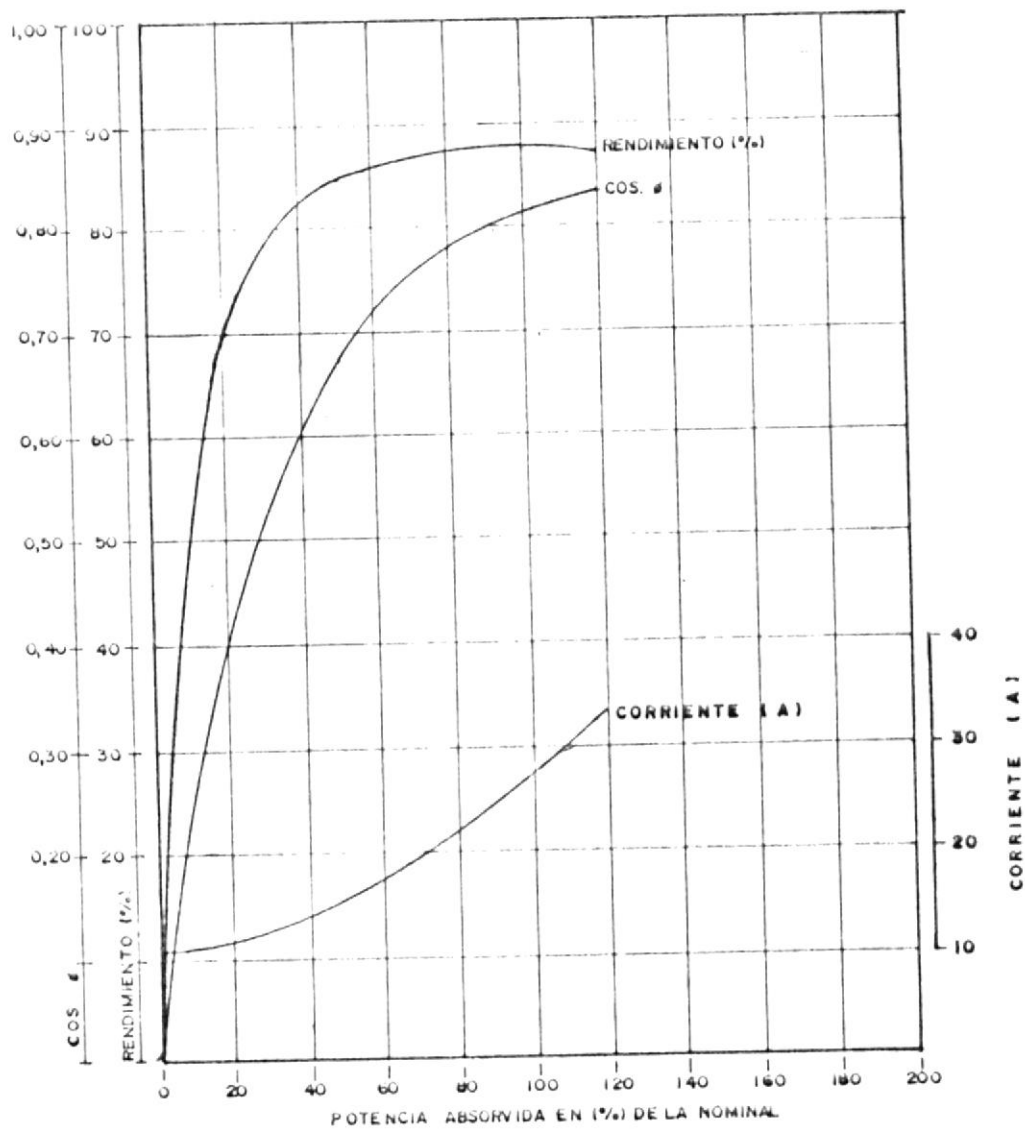


FIG. 6.3

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 10 CV.

FRECUENCIA : 60 HZ.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4

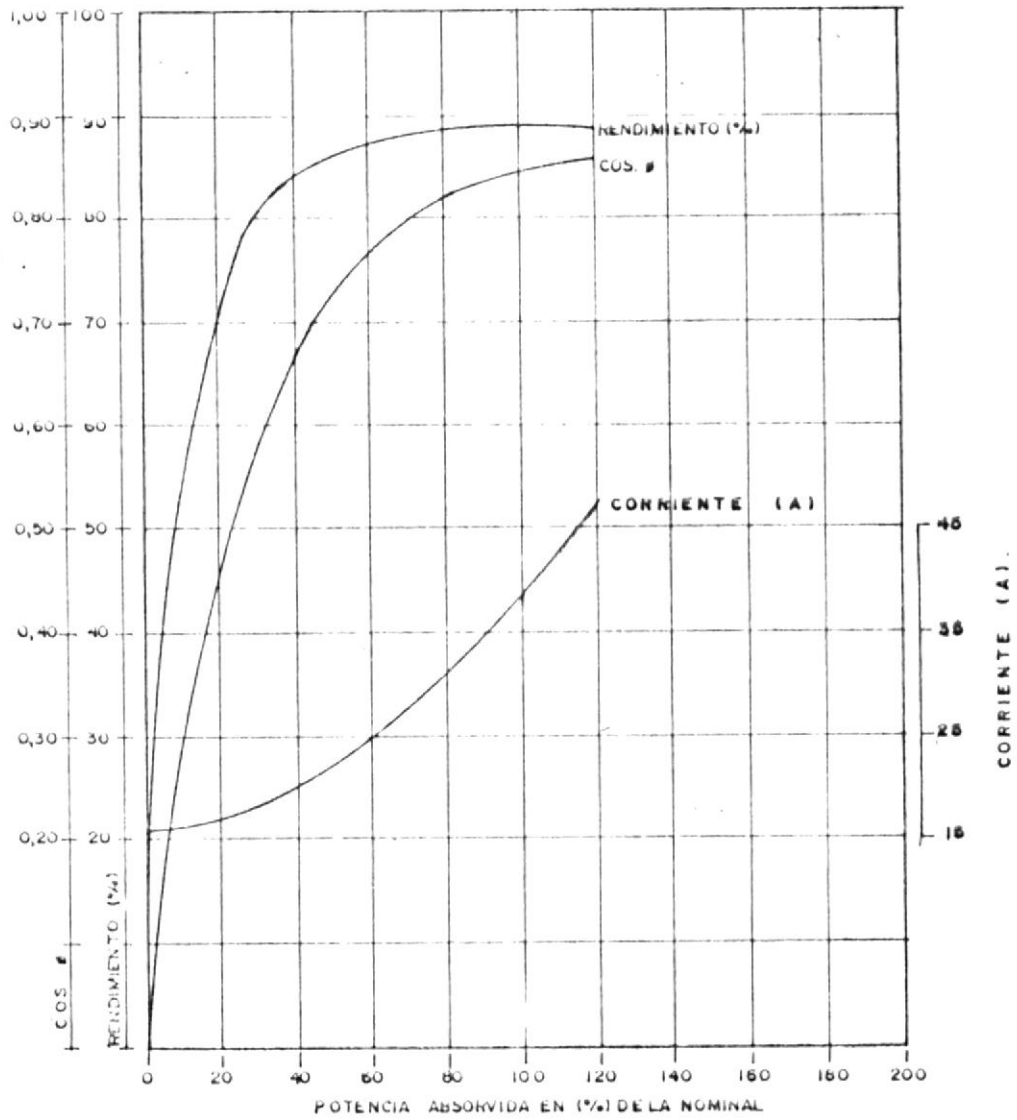


FIG. 6.4

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 15 CV. FRECUENCIA : 60Hz.

TENSION : 220 Volta. POLOS : 4

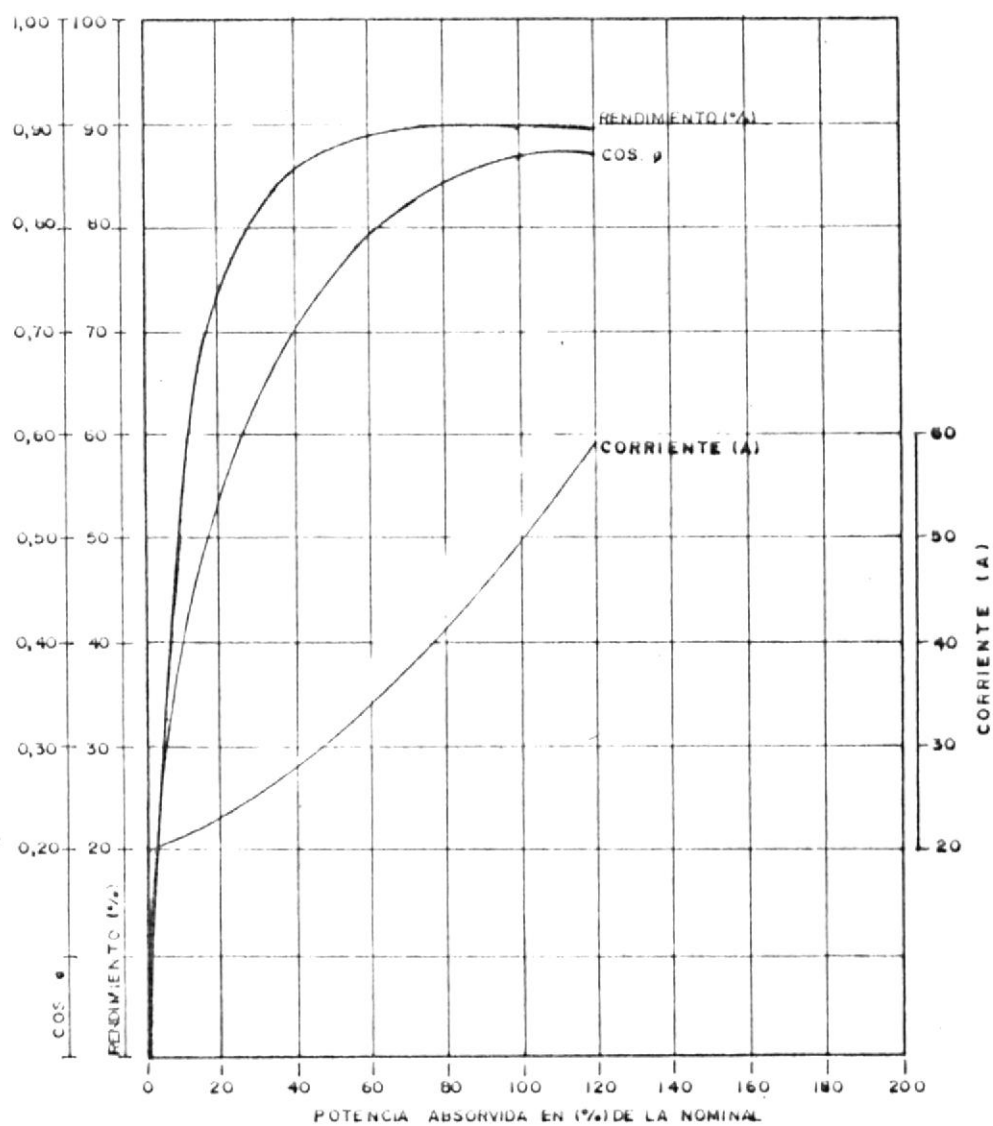


FIG. 6.5

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 20 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4

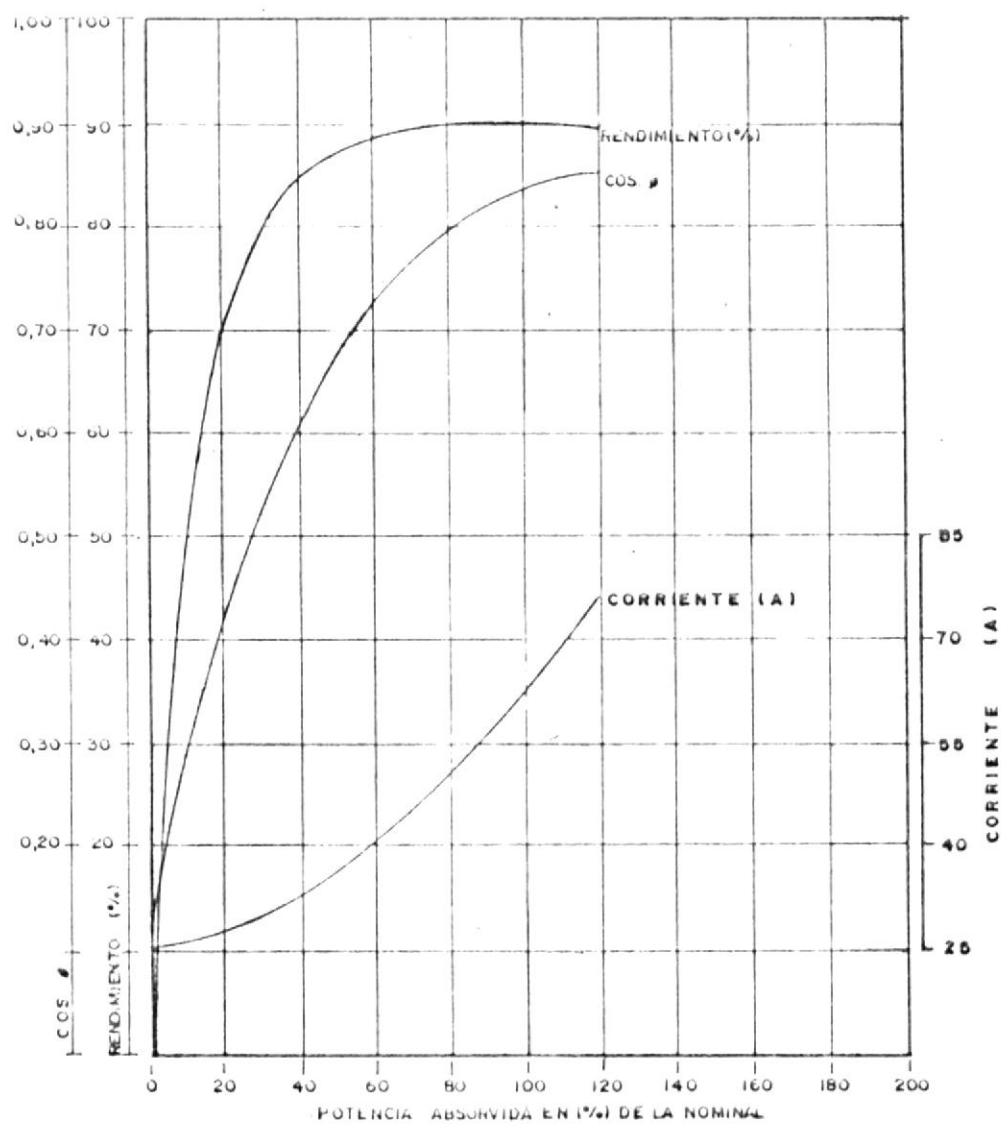


FIG 6.6

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 25 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4.

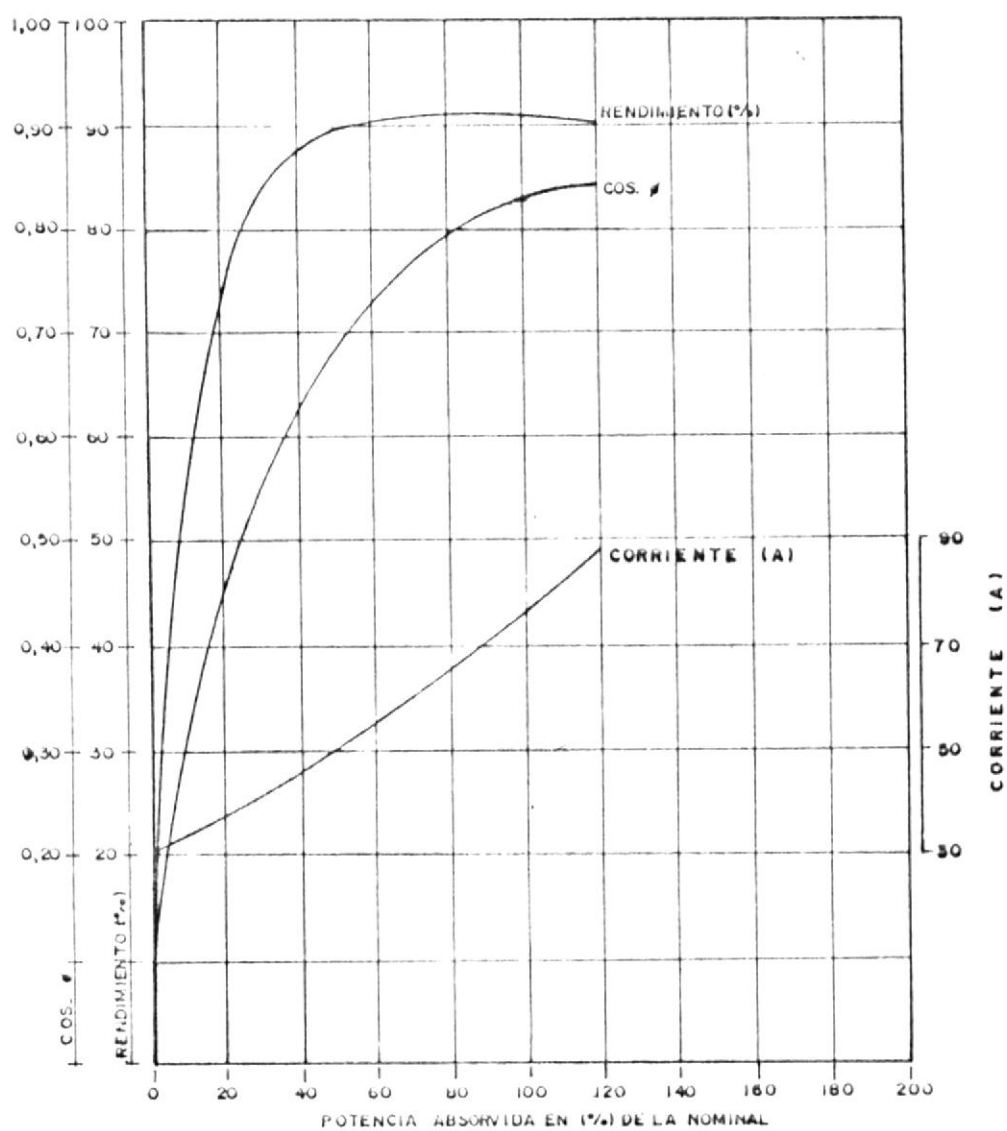


FIG. 6.7

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 30 CV. FRECUENCIA : 60 HZ.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4

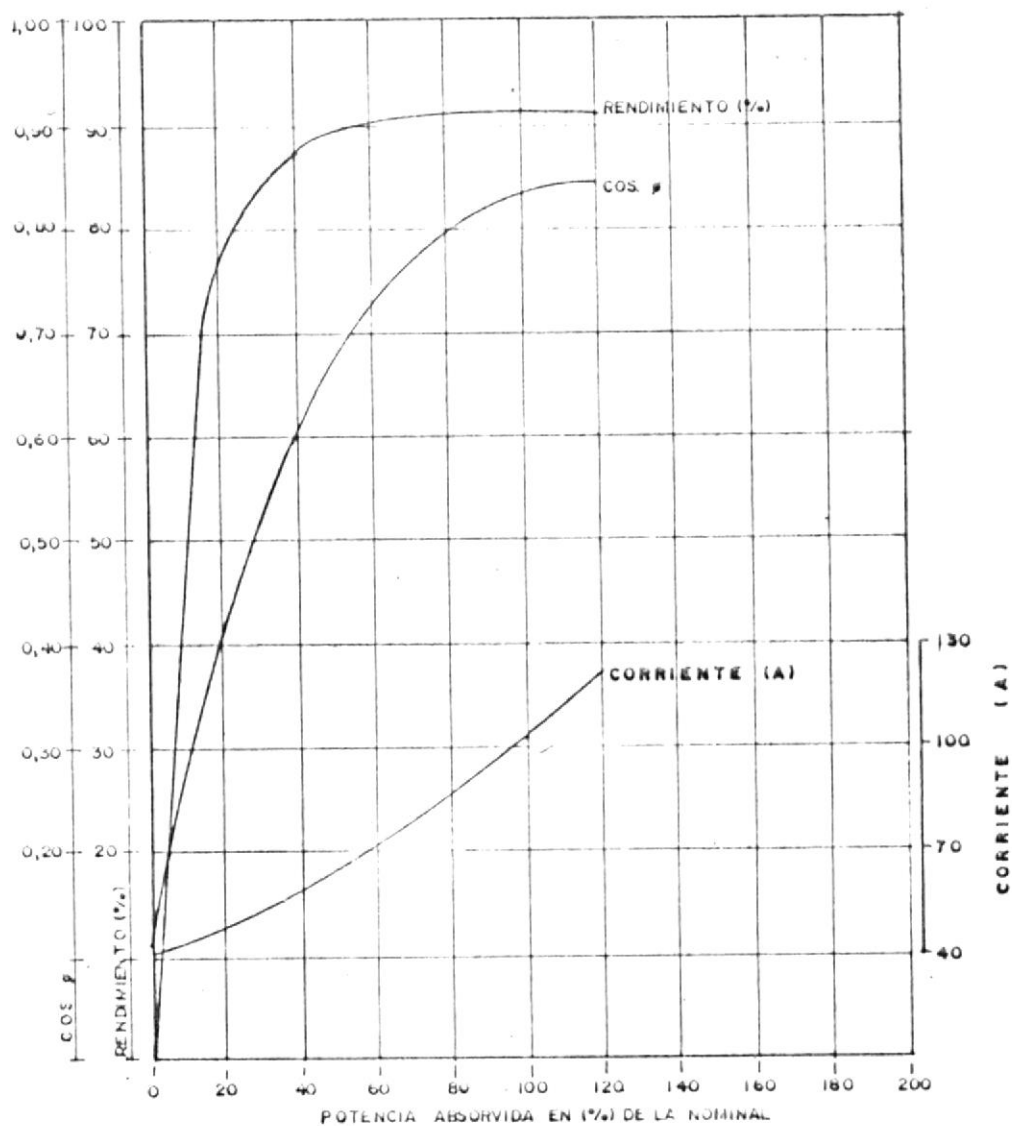


FIG. 6.8

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 40 CV.

FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4

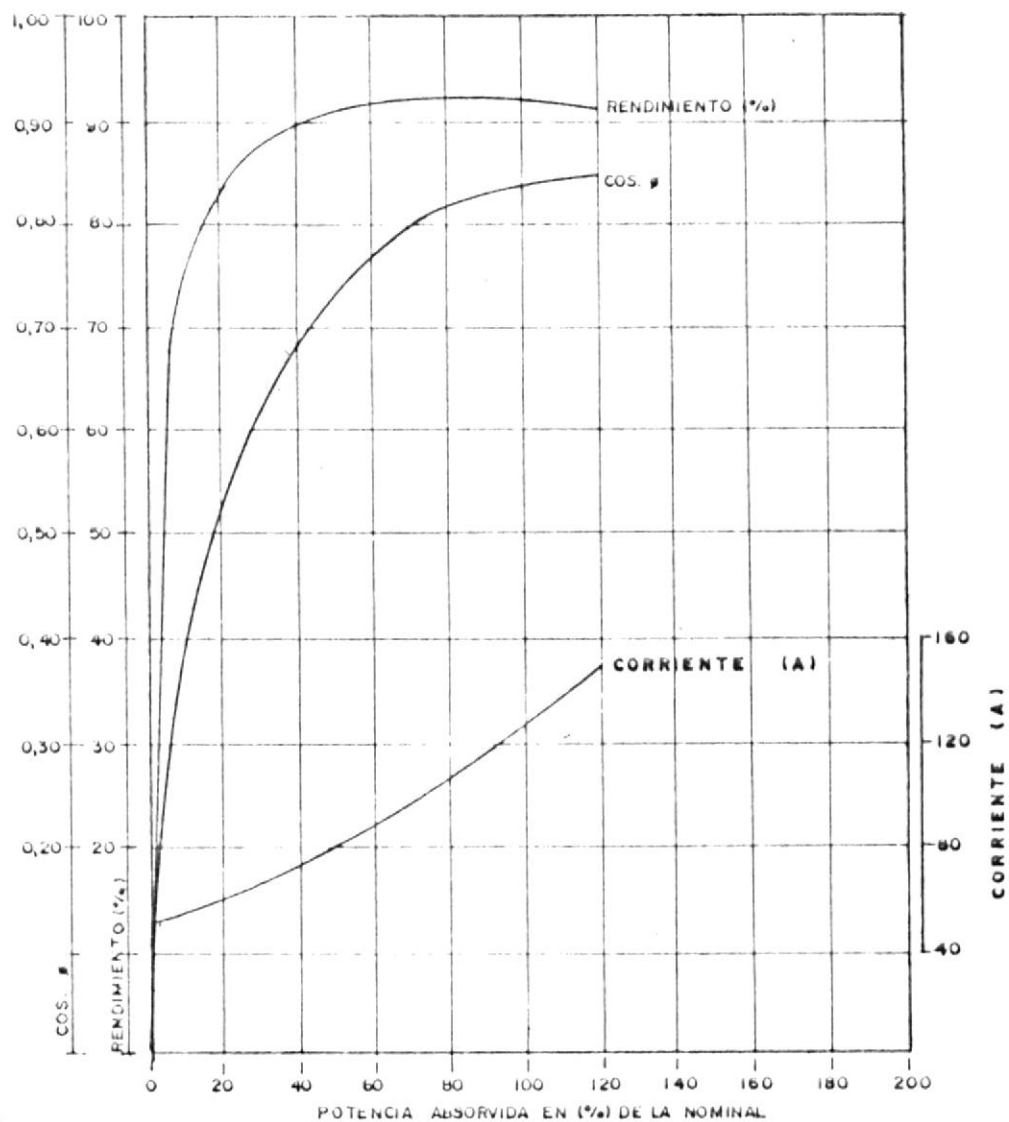


FIG 6.9

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 50 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4

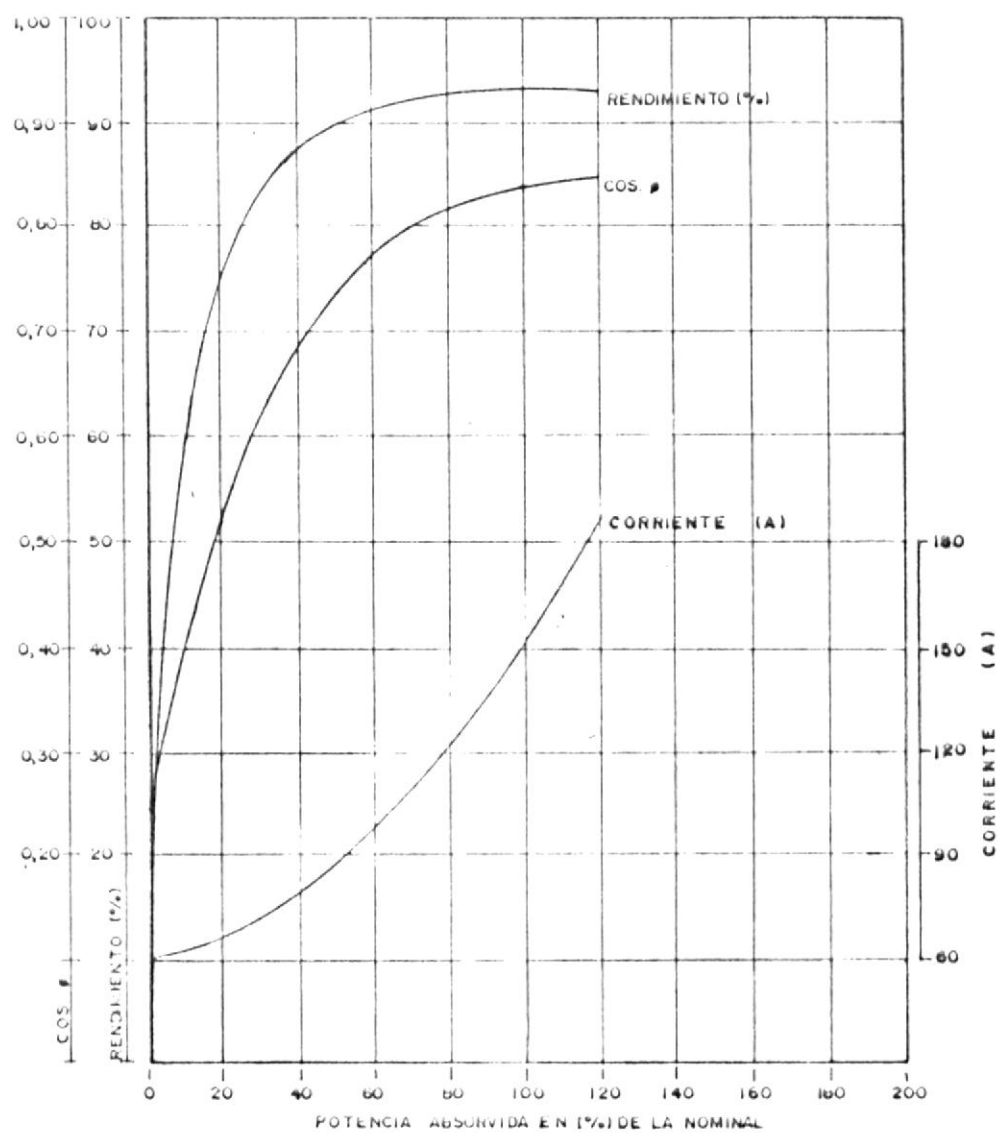


FIG. 6.10

**CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA**

POTENCIA : 60 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4

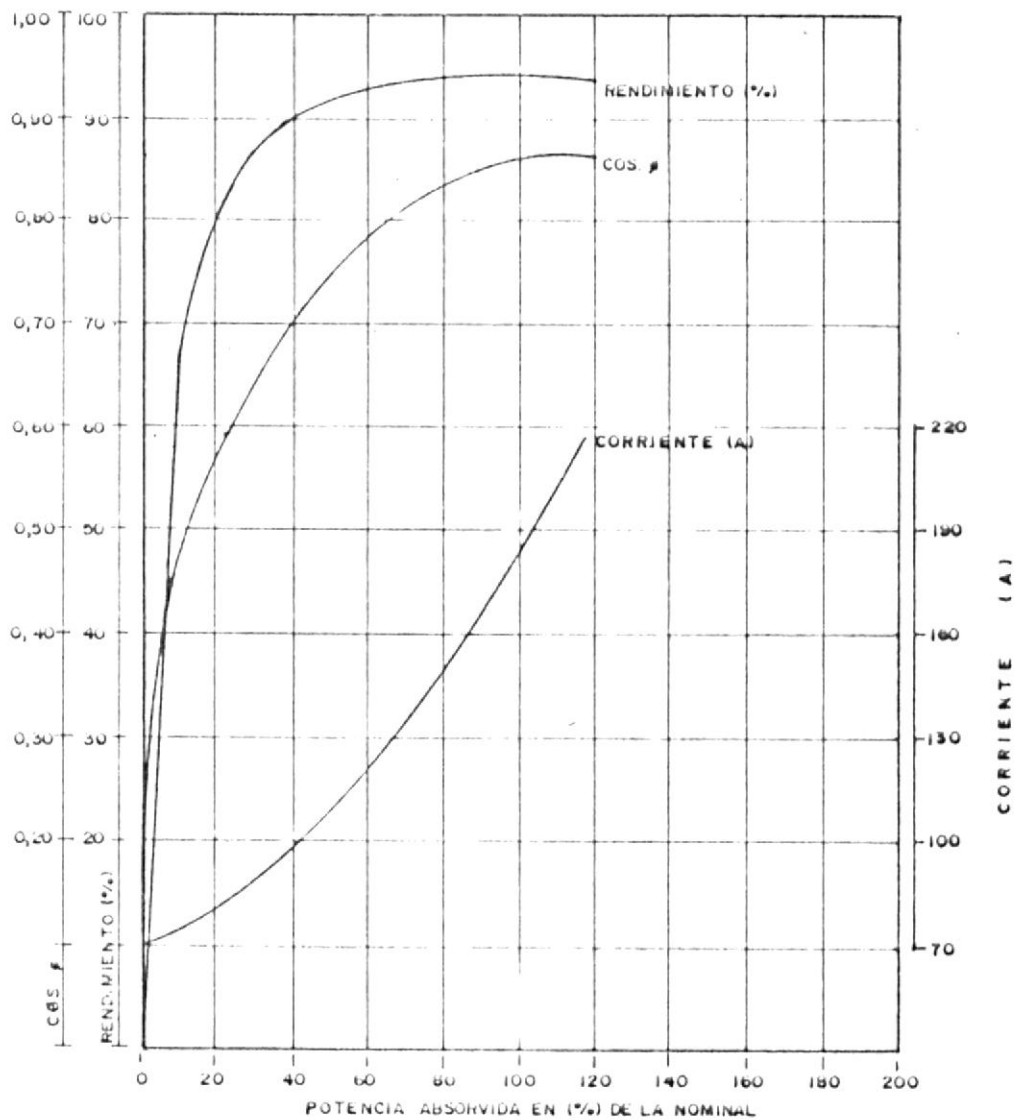


FIG. 6.11

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA

POTENCIA : 75 CV.

FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4.

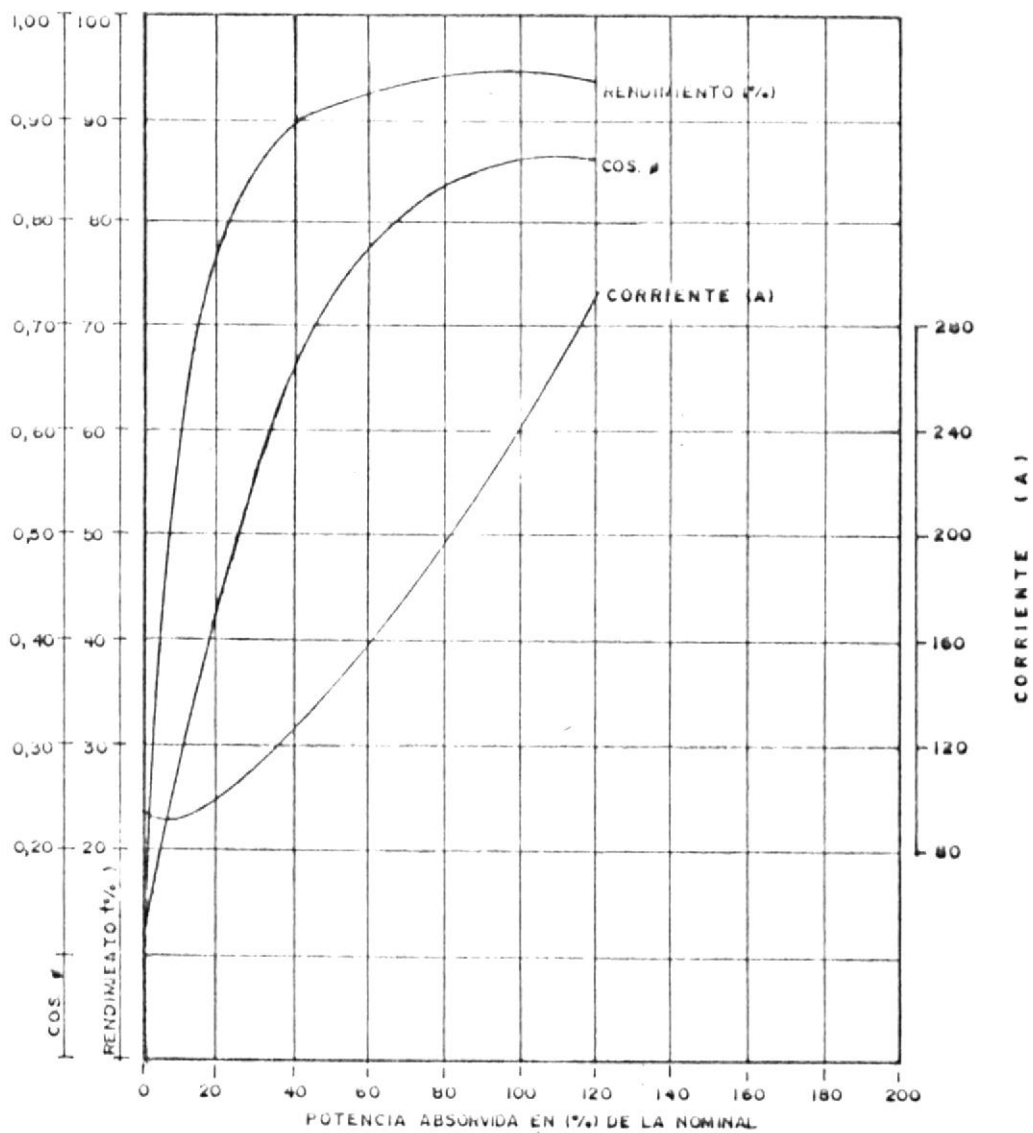


FIG. 6.12

CUNVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 100 CV. FRECUENCIA : 60Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4

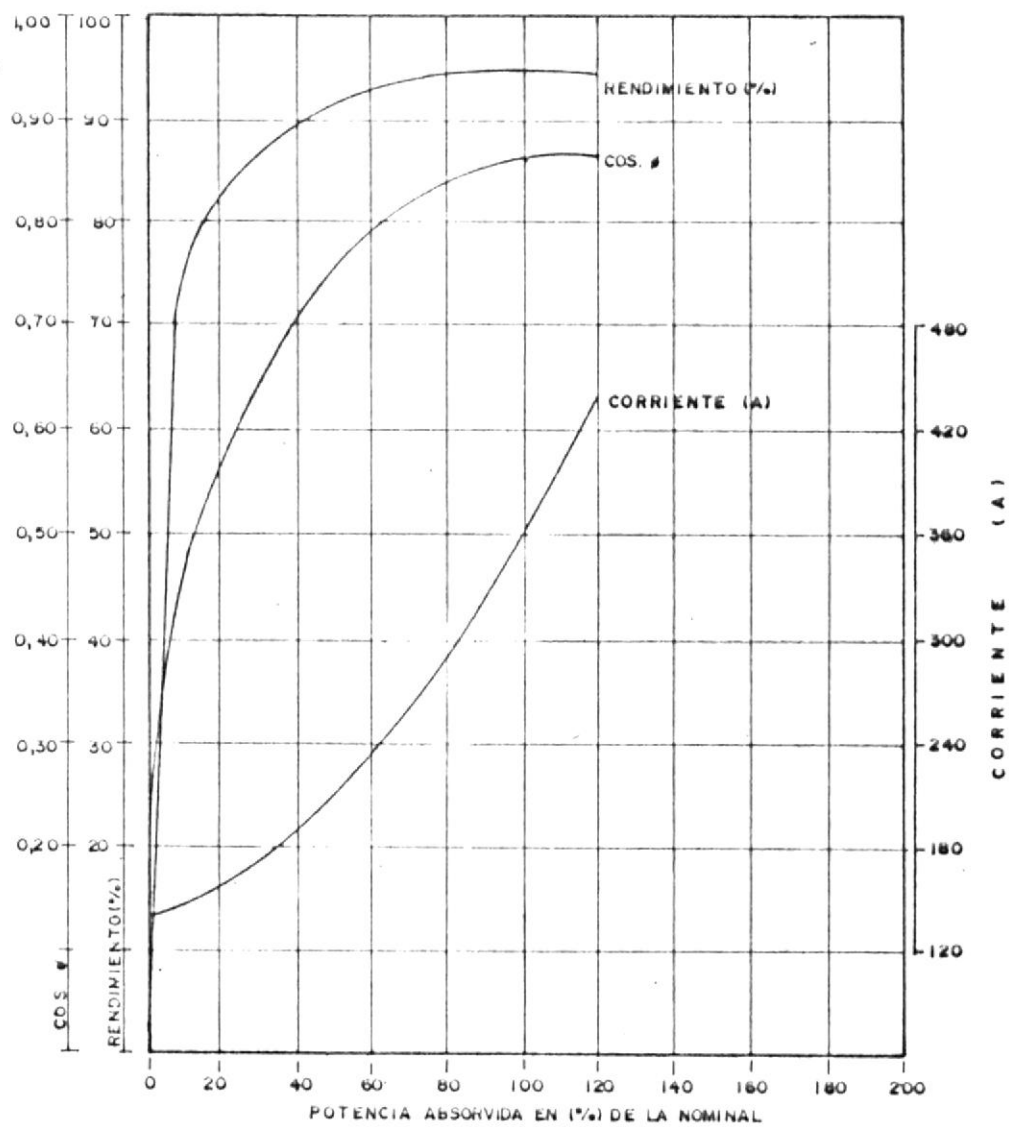


FIG. 6.13

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 150CV.

FRECUENCIA : 60Hz.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4.

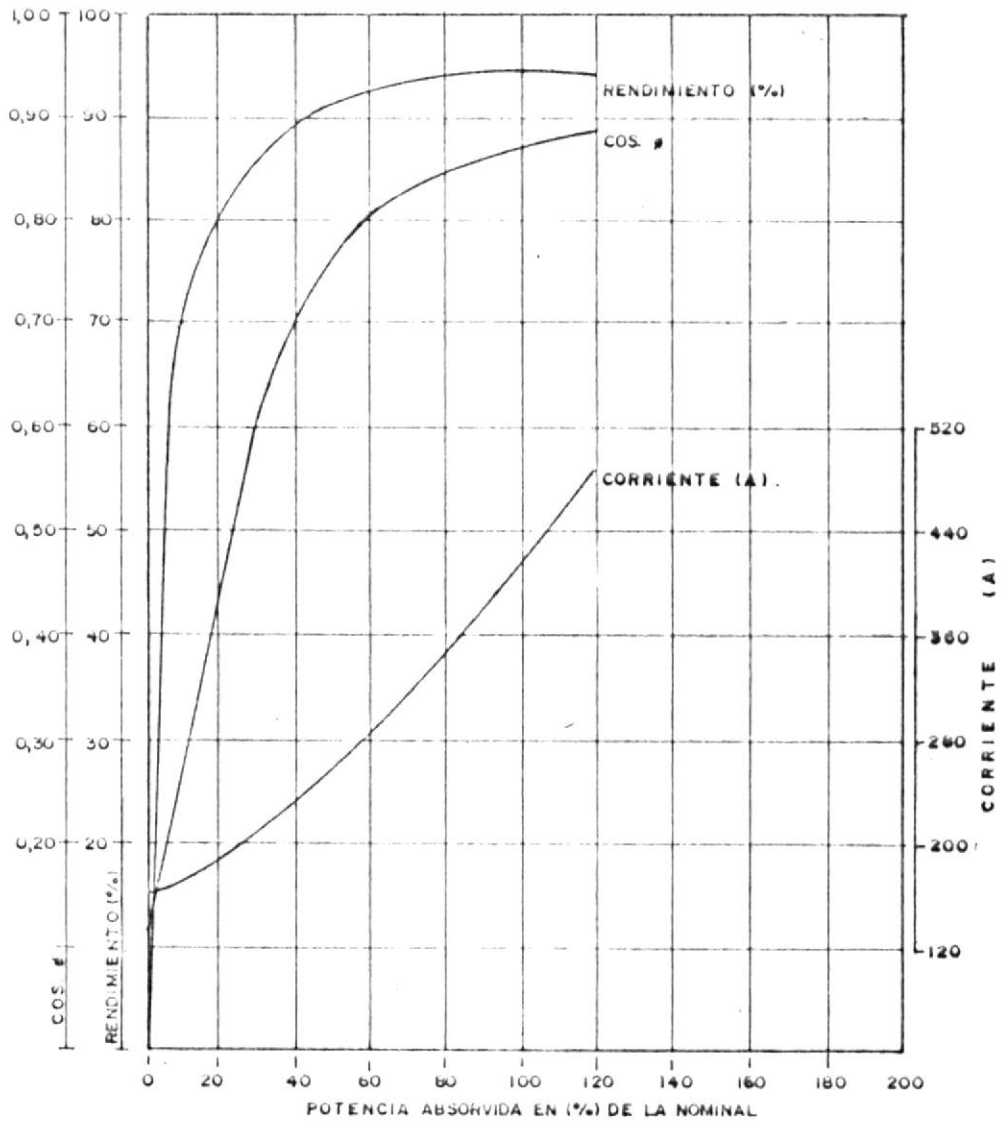


FIG. 6.14

CURVA CARACTERISTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 175 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4.

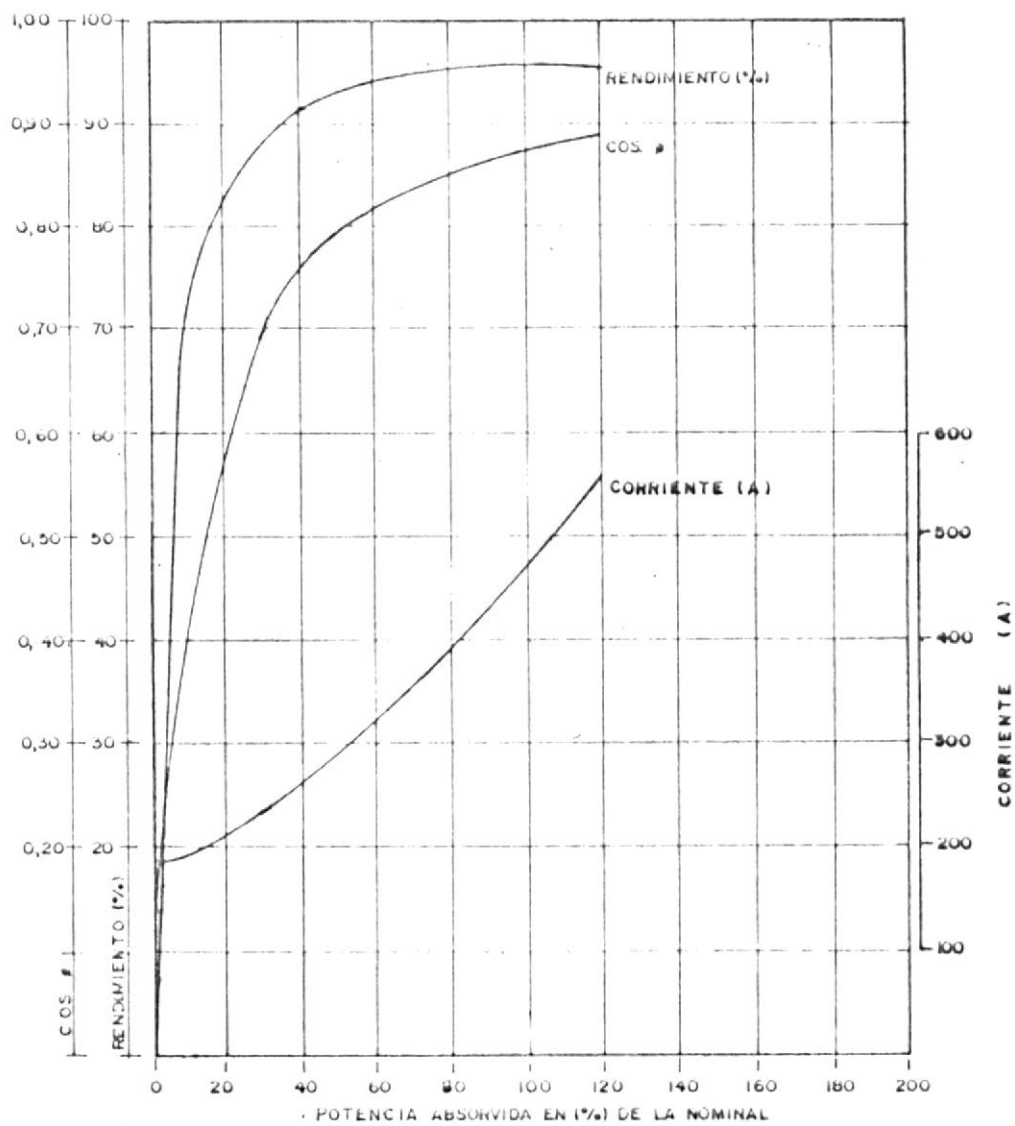


FIG. 6.15

CURVA CARACTERÍSTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 200CV.

FRECUENCIA : 60Hz.

TENSION : 220 Volts.

POLOS : 4.

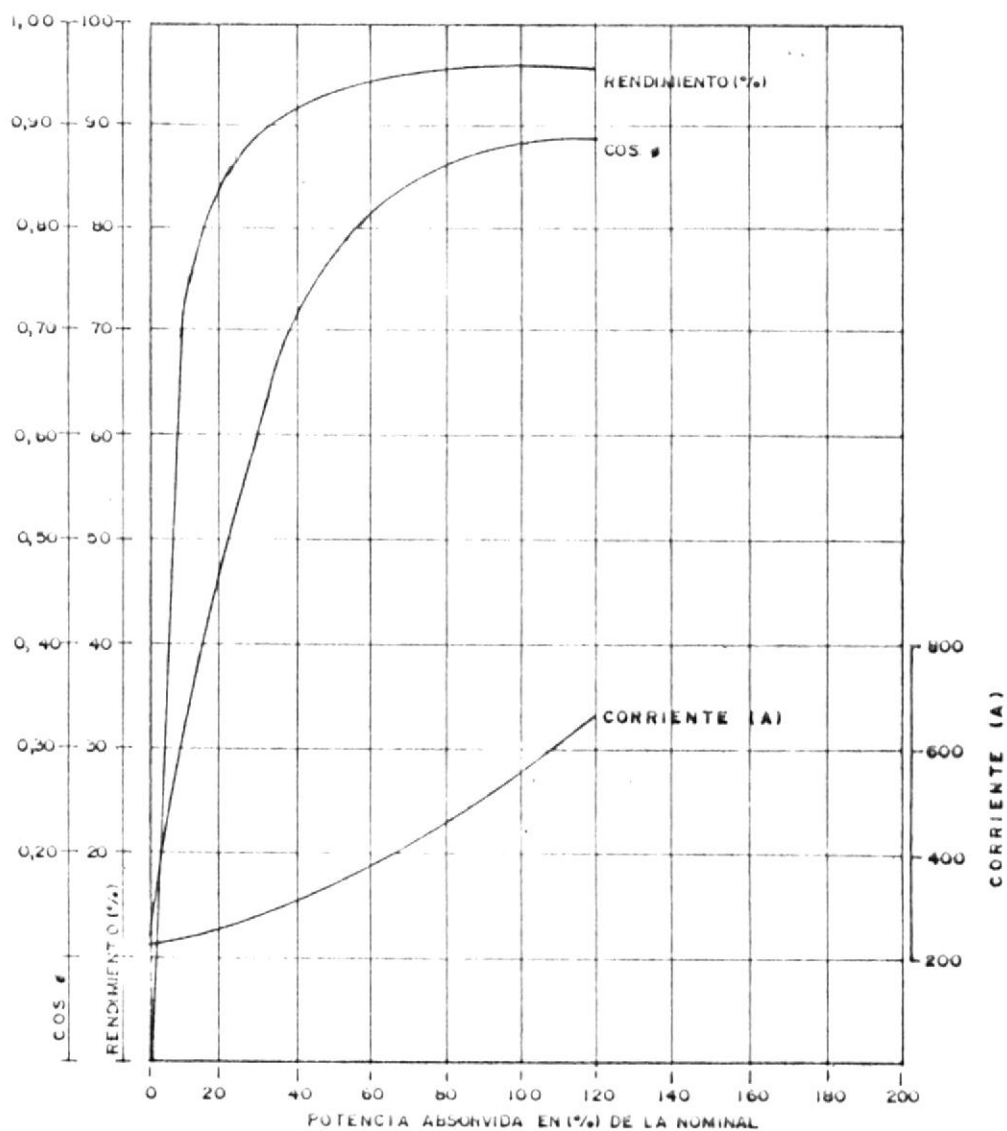


FIG. 6.16

CURVA CARACTERÍSTICA DEL MOTOR
EN FUNCION DE LA CARGA.

POTENCIA : 250 CV. FRECUENCIA : 60 Hz.

TENSION : 220 Volts. POLOS : 4.

cia nominal del motor escogido. Utilizar la columna indicada por P_e .

- k) Verificar que la potencia P_u sea igual o mayor que 80% de la potencia P_e , haciendo el cuociente entre ambos e indicar este valor en la columna P_u/P_e . Esta columna indica el porcentaje de carga del nuevo motor.
- l) Verificar los valores del factor de potencia ($\cos\phi$) y de la corriente (I_e) del motor seleccionado, para las condiciones de carga calculado en el literal anterior. Anotar estos datos en las respectivas columnas de la " TABLA XXIII ".
- m) Calcular la potencia activa del motor elegido utilizando la expresión 43. Anotar este valor en la " TABLA XXIII ".
- n) Transcribir los valores de las potencias activas P_a del motor existente (" TABLA XXII ") y P_t del motor escogido (" TABLA XXIII ") en la " TABLA XXIV ".
- o) Efectuar la diferencia entre P_a y P_t para obtener el potencial de reducción de energía debido a la

MOTOR	Potencia Activa Actual $P_a (W)$	Potencia Activa Nueva $P_t (W)$	Diferencia Entre Potencias Activa Actual y Nueva $P_a - P_t (W)$	Horas de Funcionamiento $h (h/mes)$	Potencial de Economía $P_e (KWH/mes)$
Potencial de Economía Media Mensual (P_e)					

TABLA XXIV
DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE MOTORES.

utilización de un motor más adecuado. Si esta diferencia es negativa significa que el nuevo motor no proporciona economía. En este caso no considerar más este motor en los cálculos de la " TABLA XXIV ".

- p) Estimar el número de horas mensuales de operación de cada motor y anotar este valor en la " TABLA XXIV ".
- q) Calcular el potencial de economía de energía en cada motor efectuando el siguiente producto:

$$PE = \frac{(Pa - Pt) \times h}{1.000} \quad (45)$$

donde:

PE = Economía mensual de electricidad (KWH/mes).

Pa = Potencia activa del motor existente (Vatios).

Pt = Potencia activa del motor escogido (Vatios).

h = Número medio mensual de horas de operación del motor.

- r) Sumar los resultantes de economía de energía determinados para cada motor e indicar el valor total al final de la " TABLA XXIV ".

6.2 Utilización racional de los equipos.

La energía eléctrica debe ser siempre usada de manera racional, evitando su desperdicio, lo cual puede ser conseguido, muchas veces, a partir de la adopción de medidas simples y de fácil implementación, como por ejemplo la desconexión de los motores y máquinas cuando no son efectivamente utilizados. Con medidas de esta naturaleza se puede obtener una significativa economía de electricidad que la industria no puede despreciar.

Para determinar el potencial de economía que puede obtenerse con este tipo de acción adoptar el siguiente orden:

- a) Recorrer las instalaciones observando la forma de utilización de las diversas máquinas y equipos que poseen motores, identificando aquellos que presentan frecuentemente tiempos muertos de operación.
- b) Verificar si es posible desconectar tales equipos en periodos ociosos sin provocar problemas en el equipo y la instalación eléctrica de manera general.

- c) Verificar la tensión (V) y medir la corriente media (I) de cada motor cuando este estuviera operando innecesariamente. Transcribir estos datos en la " TABLA XXV ".
- d) Consultar la curva característica de funcionamiento del motor y, a partir de la corriente medida, indicar el valor del factor de potencia del motor ($\cos\phi$) para esta condición de operación. En caso de no disponer de la curva característica del motor utilizar las Figuras 6.1 hasta 6.16 como indicativos.
- e) Calcular la potencia activa solicitada en cada uno de los motores identificados, utilizando la expresión 43. Anotar este valor en la " TABLA XXV ".
- f) Estimar el tiempo medio mensual, en horas, que cada motor puede ser desconectado. Anotar este valor en la " TABLA XXV ".
- g) Calcular el potencial de economía debido al uso racional de los motores utilizando la siguiente expresión:

$$PE = \frac{P_a \times h}{1.000} \quad (46)$$

MOTOR	Voltaje Actual V (Volt)	Corriente Actual I (Amp)	Factor de Potencia Cos θ	Potencia Activa Pa (W)	Horas de Funcionamiento h (h/mes)	Potencial de Economía P _E (KWH/mes)
Potencial de Economía Media Mensual (P _E)						

T A B L A X X V
 UTILIZACION RACIONAL DE MOTORES

donde:

P_E = Potencial de economía mensual de energía
(KWH/mes).

P_a = Potencia activa del motor (Vatios).

h = Número medio mensual de horas de desconexión
del motor (horas/mes).

- h) Calcular el potencial total de economía de energía eléctrica sumando las diversas economías determinadas. Anotar este valor al final de la " TABLA XXV ".

CAPITULO 7

ILUMINACION

En los sistemas de iluminación de una industria, se presentan significativas posibilidades de economía de energía eléctrica, siendo la medida más simple, que permite obtener ganancias inmediatas, la utilización de la iluminación en los horarios efectivamente necesarios. Otra posibilidad, que puede presentar ganancias significativas, consiste en el uso de sistemas más eficientes.

Para determinar el potencial de economía que se va a obtener en esta aplicación de la electricidad se divide este análisis en dos partes: Utilización de iluminación eficiente y Administración del sistema de iluminación.

7.1 Utilización de iluminación eficiente.

La utilización de un sistema de iluminación más eficiente consiste en sí, utilizar los balastroas, lámparas, luminarias, etc., de mayor rendimiento y adecuados para una determinada aplicación, así como el

uso de un nivel de iluminancia compatible con los valores recomendado por norma.

7.1.1 Situación actual de iluminación existente.

En este sentido el primer paso consiste en determinar las condiciones actuales del sistema de iluminación existente. Para eso, se utiliza los siguientes pasos:

- a) Identificación de los locales de la industria que utilizan iluminación de manera similar, mismo tipo de lámpara y mismo tipo de luminaria.
- b) Determinar para cada local arriba definido, la potencia instalada por iluminación (P_i), considerando las pérdidas en los balastos, cuando estos existan. Si no se conoce los valores de pérdidas de los balastos, utilíze como indicativos los datos de la " TABLA XXVI ". Anotar este valor en la " TABLA XXVII ".
- c) Determinar la(s) área(s), en m de cada uno de los locales listados y anote este valor

TIPO DE LAMPARA	POTENCIA (W)	PERDIDAS (W)
Fluorescente	1 x 20	20
	2 x 20	17
	1 x 40	17
	2 x 40	27
	1 x 65	22
	2 x 65	43
	1 x 110	37
	2 x 110	73
Vapor de Mercurio	80	11
	125	15
	250	28
	400	40
Vapor de Sodio Alta Presion.	50	12
	70	14
	150	26
	250	37
	400	55

TABLA XXVI

PERDIDAS EN BALASTROS DE LAMPARAS DE DESCARGA
CONFORME NORMAS ABNT.

LOCAL DE TRABAJO	Potencia Instalada P_i (W)	Area de Local S (m ²)	Horas de Utilización h (h/mes)	Relacion actual entre Potencia Instalada y el Area P_i / S (W/m ²)

T A B L A XXVII

SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACION.



BIBLIOTECA

en la " TABLA XXVII " .

- d) Determinar el número medio mensual de horas de utilización de iluminación por cada local (h).
- e) Calcular para cada uno de los locales la relación actual entre la potencia instalada y el área.

$$r_a = \frac{P_i}{s} \frac{(W)}{(m^2)} \quad (47)$$

donde:

r_a = Relación actual entre potencia instalada y área.

P_i = Potencia instalada con iluminación (Vatios).

s = Area de local iluminado (m²).

Tanscriba este valor en la " TABLA XXVII " .

7.1.2 Sistema de iluminación más eficiente.

El paso siguiente consiste en determinar la relación r_e para condiciones óptimas de ilumi-

nación, con el empleo de lámparas, luminarias, balastos e iluminancias más adecuadas. Para esta tarea debe utilizarse los siguientes pasos:

a) Determinación de la iluminación adecuada.

Para determinar las iluminancias adecuadas para cada local de trabajo seleccionado, debe utilizarse los valores recomendados por normas (" TABLA XXVIII "). El valor de iluminación debe ser seleccionada en función de la tarea visual y tipo de actividad.

La " TABLA XXVIII " presenta, para cada tipo de iluminación y tipo de actividad, tres valores diferentes. Para seleccionar el valor adecuado para un caso específico se debe considerar tres factores: edad media de los usuarios, velocidad y precisión de las labores que se ejecutan y, reflectancia del fondo de la tarea.

Dependiendo de la características de la tarea y del observador, se debe utilizar una cantidad específica (-1, 0 ó +1), obedeciendo

LOCAL	ILUMINANCIA (Lux)	TIPO DE ACTIVIDAD
LOCAL A Iluminación general para áreas usadas de repente o con tareas visuales simples.	20	Area pública, con corredores oscuros.
	30	
	50	
	50	Orientación simple para permanencia corta.
	75	
	100	
	100 150 200	
LOCAL B Iluminación general para área de trabajo.	200	Tareas con requisitos visuales limitados: trabajo bruto de maquinaria, auditorios.
	300	
	500	
	500	Tareas con requisitos visuales normales: trabajo medio de maquinaria, escritorios.
	750	
	1.000	
	1.000 1.500 2.000	
LOCAL C Iluminación adicional para tareas visuales difíciles.	2.000	Tareas visuales exactas y prolongadas: relojes electrónicos de tamaño pequeño.
	3.000	
	5.000	
	5.000	Tareas visuales muy exactas: montaje de microelectrónica.
	7.500	
	10.000	
	10.000	Tareas visuales muy especiales: cirugía.
15.000		
20.000		

TABLA XXVIII

ILUMINANCIAS PARA CADA GRUPO DE TAREAS VISUALES

los criterios mostrados en la " TABLA XXIX " para escoger la iluminación adecuada. Así, se efectúa la suma algebraica de esta cantidad, escogiendo el valor inferior cuando la suma es -2 ó -3; el valor superior cuando la suma es +2 ó +3 y el valor intermedio en los otros casos.

Anote en la " TABLA XXX " el valor de iluminancia adecuada (I_t) para cada local de trabajo.

b) Elección de la lámpara más eficiente.

Se hace necesario determinar, para los locales de trabajo seleccionados, los tipos de lámparas más eficientes aplicables en función de las características de trabajo de cada área.

A partir de la " TABLA XXXI " se puede seleccionar el tipo de lámpara adecuada. Anotar el valor de la eficiencia media de la lámpara seleccionada.

CARACTERISTICAS DE LAS TAREAS Y DE OBSERVADOR.	P E S O		
	-1	0	+1
EDAD MEDIA	Inferior a 40 años.	40 a 55 años.	Superior a 55 años.
VELOCIDAD Y PRECISION.	Sin importancia.	Importante	Crítica.
REFLECTANCIA DEL FONDO DE LA TAREA.	Superior a 70 %	30 a 70 %	Inferior a 30 %

TABLA XXIX

FACTORES DETERMINANTES DE LA ILUMINANCIA ADECUADA.

LOCAL DE TRABAJO	TIPO DE LAMPARA INDICADA	EFICIENCIA MEDIA (e) (lm/W)
Áreas externas como: estacionamientos, patios, áreas de circulación, jardines, etc.	Vapor de Sodio Alta Presión	120
Áreas Internas, campo directo elevado como: áreas de producción, mantención, depósitos, etc.	Vapor de Sodio Alta Presión	120
Áreas Internas campo directo elevado como: áreas de producción, mantención, depósitos que exijan buena reproducción.	Vapor de Mercurio	50
Áreas Internas, campo directo bajo, como: escritorios, baños, recepción, puestos de vigilancia, etc.	Fluorescente	60

TABLA XXXI

TIPO DE LAMPARA EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD EN EL LOCAL DE TRABAJO

- c) Elección del tipo de luminaria más eficiente.

Para obtener una buena iluminación es importante que se utilice una luminaria de una buena eficiencia, adecuada al tipo de lámpara escogida y al tipo de tarea a que está destinado el local de trabajo a ser iluminado.

La " TABLA XXXII " presenta los coeficientes de utilización medios (u) para varios tipos de luminarias más comúnmente utilizadas en una industria, que presentan buena eficiencia luminosa. Para cada tipo de luminaria son presentados varios valores de coeficientes de utilización. El valor adecuado para un caso determinado se obtiene a partir del índice del local (L).

$$L = \frac{5c (a + b)}{a \times b} \quad (48)$$

donde:

L = Índice del local.

a = Ancho del local de trabajo (m).


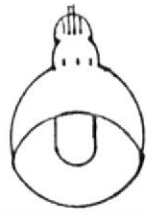
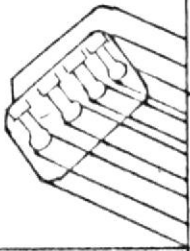
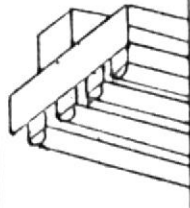

CARACTERISTICA DEL AREA DE TRABAJO	TIPO DE LAMPARA UTILIZADA	LUMINARIA	INDICE LOCAL (L)	COEFICIENTE DE UTILIZACION (u)
Areas Internas que necesitan de difusor para lámpara.	Vapor de sodio - alta presión o vapor de mercurio.		1	0,76
			2	0,70
			3	0,65
			4	0,60
			5	0,56
			6	0,52
			7	0,48
			8	0,44
			9	0,41
			10	0,36
Areas Internas que no necesitan de difusor para lámpara	Vapor de sodio - alta presión o vapor de mercurio.		1	0,77
			2	0,69
			3	0,62
			4	0,57
			5	0,52
			6	0,48
			7	0,46
			8	0,42
			9	0,39
			10	0,37
Areas Internas que necesitan de difusor para lámpara	Fluorescente.		1	0,47
			2	0,41
			3	0,36
			4	0,32
			5	0,28
			6	0,25
			7	0,23
			8	0,21
			9	0,19
			10	0,17
Areas Internas que no necesitan de difusor para lámpara	Fluorescente		1	0,72
			2	0,62
			3	0,55
			4	0,48
			5	0,42
			6	0,38
			7	0,34
			8	0,30
			9	0,27
			10	0,25
Areas Externas.	Vapor de sodio alta presión		-	0,30

TABLA XXXII

LUMINARIAS CON BUENA EFICIENCIA.

b = Longitud del local de trabajo (m).

c = Altura de luminaria en relación al plano de trabajo (m).

Una vez calculado el valor de L, se selecciona el valor del coeficiente de utilización (u) y se transcribe este valor en la " TABLA XXX ".

Otro índice que influye en el desempeño de la luminaria es el factor de depreciación, que indica el efecto causado por la atmosfera reinante en el local de trabajo, libre de polvo o con gran incidencia de polvo u otros agentes.

La " TABLA XXXIII " presenta valores medios típicos de factores de depreciación (D) en función de las condiciones del ambiente. Transcribir este valor (D) de cada local de trabajo en la " TABLA XXX ".

d) Determinación de la Iluminación Eficiente.

A partir de los valores de la " TABLA XXX ", se determina la relación entre la potencia

TIPO DE LUMINARIA	CONDICION DEL AMBIENTE	FACTOR DE DEPRECIACION (D)
Abierta para iluminación de interiores	Muy limpio	0,95
	Limpio	0,89
	Medio	0,81
	Sucio	0,72
	Muy sucio	0,61
Cerrada para iluminación de interiores	Muy limpio	0,94
	Limpio	0,88
	Medio	0,82
	Sucio	0,77
	Muy sucio	0,71
Cerrada para iluminación de áreas externas.	—	0,87

TABLA XXXIII
FACTORES DE DEPRECIACION

de iluminación y el área de cada local de trabajo. El cálculo se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$re = \frac{It}{e \times u \times x} \quad (49)$$

donde:

re = Relación para una iluminación eficiente (Vatio/m).

e = Eficiencia media (lm/Vatios).

u = Coeficiente de utilización.

D = Factor de depreciación.

Transcriba este valor en la " TABLA XXX ".

7.1.3 Potencial de economía de energía con iluminación eficiente.

Para determinar el potencial de economía de electricidad en este punto de consumo, se compara las relaciones de potencia de iluminación por metro cuadrado en la situación actual (ra) y el sistema más eficiente (re), por lo cual puede adoptarse los siguientes pasos:

a) Con los valores de r_a y r_e obtenidos en la " TABLA XXVII " y " TABLA XXX " respectivamente, se calcula la diferencia ($r_a - r_e$) y se registra el resultado en la " TABLA XXXIV ".

b) Se calcula el potencial de reducción de demanda utilizando la siguiente expresión:

$$P_{rd} = \frac{(r_a - r_e) \times s}{1.000} \quad (\text{KW}) \quad (50)$$

donde:

P_{rd} = Potencial de reducción de demanda (KW).

s = Area del local de trabajo (m²) (" TABLA XXVII ").

Anotar el valor de P_{rd} en la " TABLA XXXIV "

c) Seguidamente se multiplica este último valor (P_{rd}) por el número de horas de utilización (h), indicado en la " TABLA XXVII ", para obtener el potencial de economía de energía (P_e) y se registra este valor en la " TABLA XXXIV ".

LOCAL DE TRABAJO	Diferencia entre Relaciones actuales y Eficientes de Iluminación W/m^2	Potencial de Reducción de Demanda Prd (KW)	Potencial de Economía Pe (KWH/mes)
(Prd) Potencial de Reduccion de Demanda			
(PE) Potencial de Economía Media Mensual			

T A B L A X X X I V .
 POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA CON ILUMINACION EFICIENTE

- d) Sumar los valores obtenidos para los diversos locales de trabajo indicando los valores totales de P_{rd} y P_{re} al final de la " TABLA XXXIV " .

En caso de obtener un algún valor negativo en la relación $(r_a - r_e)$, significa que su iluminación en ese local presenta una iluminancia abajo de los valores recomendados por norma, lo cual indica que se utiliza un sistema de iluminación bastante eficiente. En este caso no se considera este valor para totalizar la suma de este sub-párrafo.

7.2 Administración del sistema de iluminación.

Aplicando una administración adecuada de la iluminación existente en las industrias, se puede encontrar un significativo potencial de economía de electricidad. La principal ventaja de este tipo de medida reside en los requerimientos necesarios para su implementación, que son mínimos o inexistentes.

Dentro de las innumeradas medidas que pueden ser adoptadas en esta área, las más significativas, generalmente son: reducción de iluminación, cambios

en la ejecución de limpieza nocturna, desconexión de iluminación en horas de no utilización e individualización del comando de iluminación.

7.2.1 Reducción de iluminación.

En todas las áreas iluminadas se debe verificar los locales donde la iluminación puede ser reducida, sin perjuicio de las actividades desarrolladas. En estos locales podemos reducir el número de lámparas y luminarias en operación con significativa economía de electricidad. Para obtener esto debe seguirse los siguientes pasos:

- a) Recorrer todos los locales observando las luminarias no necesarias, como las que están iluminando archivos, estantes, armarios, anaqueles, jardines, estacionamientos, áreas no ocupadas, baños, etc.
- b) Observar los corredores, salas de espera, comedores, etc., donde no siempre, es necesario una iluminación elevada, habiendo la posibilidad de reducir el número de lámparas en funcionamiento.

c) Anotar en la " TABLA XXXV ", para cada local, la potencia (p_1) y la cantidad (n_1) de lámparas a ser desactivadas, así como, las pérdidas (p_2) y la cantidad (n_2) de los respectivos balastos.

d) Ahora se calcula el potencial de reducción de demanda (Pr_d), en KW utilizando la siguiente expresión:

$$Pr_d = \frac{p_1 \times n_1 + p_2 \times n_2}{1.000} \quad (51)$$

donde:

Pr_d = Potencial de reducción de demanda (KW).

p_1 = Potencial de lámparas a ser desconectadas (Vatios).

n_1 = Número de lámparas a ser desconectadas.

p_2 = Pérdidas de los balastos a ser desconectados (W).

n_2 = Número de balastos a ser desconectados.

NOTA: En caso de no conocer el valor de p_2 , utilizar las pérdidas medias presenta-

das en la " TABLA XXVI ".

• Anotar los valores de P_{ra} encontrados para cada local en la " TABLA XXXV ".

e) Calcular el potencial de economía de energía (PE), en KWH/mes , de cada local multiplicado el potencial de reducción (P_{ra}), en KW , por el número medio mensual de horas de desconexión de las lámparas (h) obtenido en la " TABLA XXVII " . Anotar este valor en la " TABLA XXXV " .

f) Sumar los valores obtenidos para P_{ra} y PE en los diversos locales de trabajo, indicando los valores totales en el final de la " TABLA XXXV " .

7.2.2 Cambio en la ejecución de la limpieza nocturna.

En la mayoría de las industrias es común la limpieza de los locales de trabajo, especialmente los escritorios, efectuarlos después del término de las actividades. Dependiendo del sistema adoptado, existe un significativo potencial de economía de energía.

En este sentido, el primer paso a seguir consiste en analizar el sistema actual de limpieza nocturna considerandose: horarios en que esta es realizada, número de empleados que realizan dicha actividad, distribución de empleados por los locales de trabajo, sistema de utilización de la iluminación durante la ejecución de la limpieza, tiempo que toma en realizar este servicio.

Seguidamente se debe realizar un nuevo sistema de trabajo que permita reducir el tiempo que se utiliza en el servicio de limpieza y, consecuentemente, reducir el tiempo del funcionamiento de la iluminación en cada local, o transferir la limpieza a un horario matutino, antes del inicio de las actividades.

Luego de realizar este nuevo sistema, se debe llenar la " TABLA XXXVI ", de la misma forma que se hizo en la " TABLA XXXV ", calculando el potencial de economía de energía (PE) que puede obtenerse, utilizando la siguiente expresión:

$$PE = \frac{(p_1 x n_1) + p_2 x n_2}{1.000} \times h \times m \quad (52)$$

LOCAL DE TRABAJO	DESCONEXION					Horas de Desconexión h (h/mes)	Potencial de Economía Pe (KWH/mes)
	LAMPARAS		BALASTROS		Potencial de Economía Pe (KWH/mes)		
	Potencia P ₁ (W)	Cantidad n ₁	Pérdida P ₂ (W)	Cantidad n ₂			
Potencial de Economía Media Mensual (PE)							

I A B L A XXXVI
CAMBIO EN LA EJECUCION DE LIMPIEZA NOCTURNA

donde:

h = Tiempo a ser economizado con el cambio del sistema de limpieza nocturna (horas).

m = Número de días por mes en que ocurrirá la desconexión.

En el literal anterior están definidos p_1 , n_1 , p_2 y n_2 .

7.2.3 Desconexión de la iluminación en horas de no utilización.

En el período de almuerzo, reuniones, etc. de los empleados o funcionarios de las industrias, normalmente, las áreas de trabajo permanecen con la iluminación conectada. Muchas veces, esta iluminación puede ser desconectada sin perjuicio de la actividad productiva, obteniéndose una significativa economía de electricidad.

En este sentido, se identifica los locales en que se puede desconectar la iluminación en ciertos períodos, y se determina el tiempo en esto puede ser hecho.

Después de verificar todas las posibilidades existentes, llene la " TABLA XXXVII " de la misma manera que se realizó en la " TABLA XXXV " .

Para calcular el potencial de economía de la energía (PE) resultante, se utiliza la expresión 52.

7.2.4 Individualización del comando de iluminación.

Otro punto importante para la economía de energía es la instalación de interruptores individuales para la iluminación de las diversas áreas de trabajo, en lugar de un comando general, lo que nos permite una desconexión parcial, en los horarios en que el local no es eficientemente utilizado. Muchas veces ya existe este tipo de comando, más su uso no es frecuente. En este caso es necesario ordenar a los empleados para que apagen las luces cuando salen.

Debe tenerse en cuenta que los locales con poca frecuencia de utilización como las salas de

reunión, depósitos de material, baños, etc. deben permanecer con las luces apagadas.

Luego de verificar las posibilidades para adoptar esta medida, se llena la " TABLA XXXVIII ", de la misma forma que la " TABLA XXXV ".

Para calcular el potencial de economía de energía resultante, se utiliza la expresión 52.

En caso de no poder estimar el número medio de horas de desconexión de la iluminación, observar que se obtenga una economía del 10% de la energía consumida de un local con comando de individualización de la iluminación.

CAPITULO 8

OTROS EQUIPOS ELECTRICOS

Dentro de la industria se utilizan una amplia gama de equipos eléctricos que se destinan a los más variados fines. Dentro de ellos, los artefactos que hacen uso de la electricidad para la producción de calor se constituyen en un importante consumidor de este insumo energético. Este es el caso de varios tipos de hornos eléctricos, estufas, calentadores de fluido térmico, calentadores de tanques y baños, etc.

De manera general, estos equipos presentan elevada eficiencia en la producción y transmisión de calor para el producto a ser procesado, pero no se puede afirmar que dichos equipos sean adecuados para las tareas que se destinan, estén bien aislados térmicamente, trabajen en niveles adecuados de temperatura y, tienen su utilización programada de forma que resulte un mínimo consumo.

Cuantificar el potencial de economía de energía eléctrica en tales equipos no siempre es una tarea fácil, exigiendo, muchas veces, el desarrollo de experiencias prácticas

para verificar la economía de energía resultante con la adecuación de nuevas técnicas de operación. Por lo tanto, el potencial de economía con estas aplicaciones puede ser muy significativo para un caso particular, especialmente si la cantidad de hornos y calentadores eléctricos es representativa.

En este capítulo se presenta algunos puntos donde es posible determinar el potencial de economía de energía eléctrica, para lo cual debe seguirse el orden indicado en cada uno de ellos.

8.1 Mejoría del aislamiento térmico.

Los equipos que consumen energía eléctrica para producción térmica, generalmente, poseen un buen rendimiento energético, pero su transporte o almacenamiento de calor se puede constituir en los puntos de desperdicio de energía debido a la deficiencia o inexistencia de aislamiento térmico.

Las pérdidas que ocurren en equipos térmicos son debidas a la conducción, convección o radiación del calor. En las aplicaciones industriales más comunes, la mayor parte de las pérdidas son debidas a la conducción del calor a través de las paredes de los

equipos para el ambiente exterior, por lo cual consideraremos solo este tipo de pérdida, por simplicidad de los cálculos presentados adelante.

Para cuantificar las pérdidas por conducción de calor es suficiente comparar las pérdidas que ocurren actualmente con las que ocurrirían si el aislamiento térmico fuese el adecuado. Por lo cual se sugiere seguir el siguiente orden:

- a) Verificar en la industria los principales equipos eléctricos existentes para producción de calor. Si hubiera un generador eléctrico de vapor considere también las tabulaciones de vapor en este análisis.
- b) Medir la temperatura t_1 , en el interior del equipo, y t_2 , del ambiente externo. Anotar estos valores en la " TABLA XXXIX " o en la " TABLA XL ", conforme se trate de equipo o tabulación.
- c) Si el equipo posee aislamiento térmico, medir el espesor (e), identificar el material utilizado y el respectivo coeficiente de conductibilidad térmica (K_1), que varia con la temperatura. En caso de no conocer el valor exacto de (K_1), considere

los valores medios presentados en la " TABLA XLI " Cuando las paredes de los equipos están constituidas por varios materiales que pueden ser considerados aislamientos térmicos, tome en cuenta también la influencia de estos materiales en este cálculo. Anotar los valores de (e) y (K_i) en la " TABLA XXXIX " o en la " TABLA XL ", conforme se trate de equipo o tabulación.

- d) Para superficies planas, medir el área exterior (s) del equipo, que irradia calor. En caso de calderas eléctricas considerar el cuerpo de la caldera, a pesar de cilindro, como una superficie plana. Anotar estos valores en la " TABLA XXXIX ". En los casos en que ocurren aislamientos térmicos diferentes para los laterales, piso y techo de los equipos, se debe considerar cada superficie.
- e) En caso de tabulaciones, medir el diámetro externo (de) del tubo y el diámetro externo del tubo más el aislamiento térmico (da) . Medir también la longitud (l) de las tabulaciones, en metros. Anotar estos valores en la " TABLA XL ".
- f) Para determinar las pérdidas actuales de calor, se considera equipos sin aislamiento térmico y con

MATERIAL AISLANTE	TEMPERATURA MAX. DE UTILIZACION °C	TEMPERATURA DE OPERACION °C.	K (Kca/m.°C)
Poliuretano	100	0	0,020
Silicato de Calcio	650	100	0,051
		200	0,057
		300	0,062
		400	0,068
		500	0,073
		600	0,078
		650	0,080
Fibra de Vidrio	550	100	0,033
		200	0,041
		300	0,047
		400	0,056
		550	0,075
Lã de Rocha.	750	100	0,035
		200	0,041
		300	0,048
		400	0,057
		500	0,066
		600	0,077
		700	0,089
		750	0,096
Fibra Cerámica(*)	1.400	200	0,025
		400	0,050
		600	0,080
		800	0,114
		1.000	0,154
		1.200	0,198

TABLA XLI

COEFICIENTE DE CONDUCTIBILIDAD TERMICA
PARA DIVERSOS AISLANTES TERMICOS

(*) Para fibra cerámica considere una elección de temperatura, o valor de temperatura media entre las dos caras que serán aisladas.

Ejemplo:

$$t_m = \frac{1.100 + 1.000}{2} = 1.050^\circ\text{C}$$

portanto: $k = 0,154$

aislamiento térmico.

- 1) Para las instalaciones sin aislamiento térmico obtener de la Figura 8.1 (Abaco de Wrede) la correspondiente pérdida de calor (q) y determinar las pérdidas Q_1 , de la siguiente forma:

$$\text{superficies planas : } Q_1 = q \times s \quad (53)$$

$$\text{tabulaciones: } Q_1 = q \times l \quad (54)$$

donde:

Q_1 = Pérdidas actuales de calor (Kcal/h).

q = Pérdidas actuales de calor (Kcal/m.h)
o (Kcal/m .h), conforme el cálculo (Figura 8.1).

s = Area exterior del equipo (m).

l = Longitud de la tabulación.

- 2) Para los equipos que poseen aislamiento térmico determinar las pérdidas de calor Q_1 utilizando las siguientes expresiones:

$$\text{superficies planas: } Q_1 = \frac{s(t_1 - t_2)}{K} \quad (55)$$

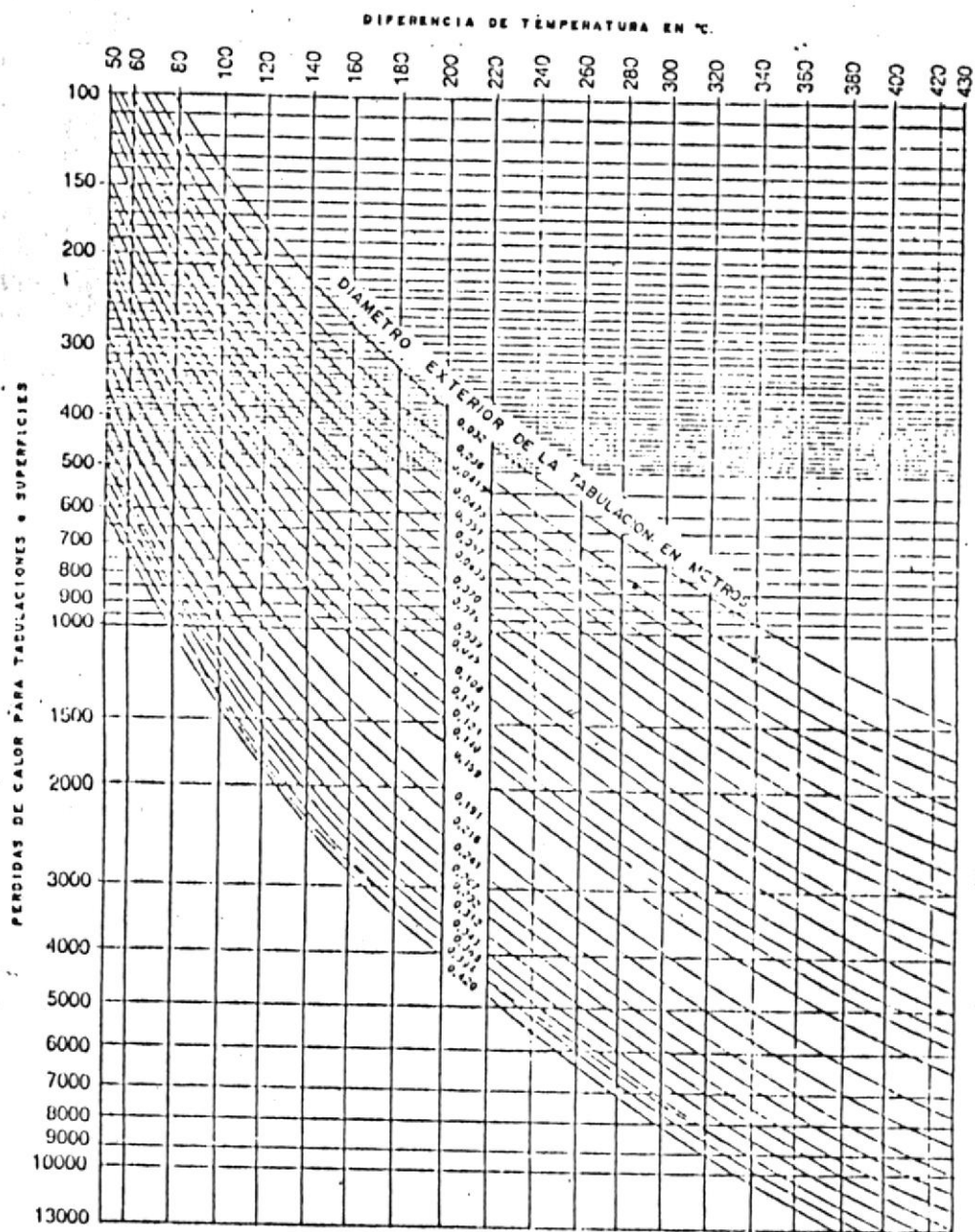


FIG. 8.1
ABACO DE WREDE

Superficie plana

- NOTAS: 1- El éscote de WREDE puede ser utilizado cuando la temperatura ambiente o en torno de 20°C, o cuando las paredes no sufren acción de vientos relativamente fuertes.
 2- Pérdidas de calor para tabulaciones en Kcal/m h.
 3- Pérdidas de calor para superficies en Kcal/m² h.

para tabulaciones:
$$Q_1 = 2 \frac{l(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_e}{d_a}} \frac{1}{K} \quad (56)$$

donde:

Q_1 = Pérdidas actuales de calor (Kcal/h).

K = Coeficiente de conductibilidad térmica del aislante, en Kcal/m.h.°C, a su temperatura media:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (57)$$

t_1 = Temperatura interna del equipo o de la tabulación (°C).

t_2 = Temperatura ambiente (°C).

e = Espesor del aislante (m).

d_e = Diámetro externo del tubo (m).

d_a = Diámetro externo del tubo mas aislante térmico (m).

Anotar los valores obtenidos en la " TABLA XXXIX " o en la " TABLA XL ", conforme se trate de equipo o tabulación.

Nota: Cuando existen varios materiales componentes de aislante térmico del equipo se considera el efecto de cada uno y se efectúa la sumatoria de estos valores.

g) Para reducir las pérdidas de calor de los equipos y tabulaciones se puede utilizar otro aislante más eficiente, con menor coeficiente de conductibilidad térmica, aumentar el espesor del aislante térmico o, ambas soluciones conjuntamente. Escoger la alternativa más adecuada para el caso y anotar los valores escogidos en la " TABLA XLII " o en la " TABLA XLIII ", conforme se trate de equipo o tabulación.

h) Transcriba los demás valores que se mantienen constantes, para la " TABLA XLII " o la " TABLA XLIII ", conforme se trate de equipo o tabulación. Debe recordarse que, cuando sea posible, se puede también reducir las longitudes de las tabulaciones, eliminando los trechos no necesarios, evitando desperdicios de energía.

i) Calcular las nuevas pérdidas, utilizando las expresiones del literal f). Anotar los valores obtenidos.

nidos de Q_2 en la " TABLA XLII " o en la " TABLA XLIII ", conforme se trate de equipo o tabulación y determinar la reducción de pérdidas debido a la mejora del aislamiento térmico efectuando la diferencia entre los dos valores de pérdida de calor, así:

$$R = Q_1 - Q_2 \quad (58)$$

donde:

R = Reducción de pérdidas debido a la mejora del aislamiento térmico (Kcal/h).

Q_1 = Pérdidas actuales del equipo o tabulación (Kcal/h).

Q_2 = Pérdidas del equipo o tabulación con aislamiento térmico adecuado (Kcal/h).

j) Estimar el número medio mensual de horas (h) que los equipos o tabulación son mantenidos en funcionamiento. Anotar este dato en la " TABLA XLIV " o en la " TABLA XLV ", conforme se trate de equipo o tabulación.

k) Calcular el potencial de economía de energía (Pe) y anotar este valor en la " TABLA XLIV " o en la

" TABLA XLV ", conforme se trate de equipo o tabulación. Utilizar para esto, la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{R \times h}{860} \text{ (KWH/mes)} \quad (59)$$

- 1) Sume los valores de economía obtenidos y anotar este total al final de la " TABLA XLIV " y la " TABLA XLV ", conforme se trate de equipo o tabulación.

8.2 Adecuación de niveles de temperatura utilizados.

Diversos procesos industriales que utilizan energía térmica no presentan gran precisión en los niveles de temperatura necesarios para la ejecución de las tareas a que se destinan, como por ejemplo el lavado de piezas, con un calentamiento de algunos tipos de fluido térmico, en varios tipos de estufas para lavados, etc.

La energía eléctrica consumida por tales equipos es proporcional a la temperatura utilizada y las pérdidas de calor hacia el ambiente también aumentan con la elevación de temperatura del proceso. Un análisis de estas aplicaciones, en su proceso industrial, puede

proporcionar la reducción de los niveles de temperatura utilizados, con una consecuente reducción en el consumo de la electricidad.

Para cuantificar el potencial de economía de energía eléctrica que puede ser obtenido, es necesario seguir el siguiente orden de ejecución:

a) Analizar los procesos eléctricos de calentamiento e identificar aquellos cuya temperatura de trabajo pueda ser reducida o, el calentamiento puede ser eliminado, sin comprometer la condición de la operación ejecutada.

b) Determinar el consumo horario actual (E_a), en KWH/h de estos equipos y anotar el valor en la " TABLA XLVI ".

c) Verificar el nivel mínimo de temperatura que pueda ser adoptado de modo que se pueda realizar la misma operación con la misma condición actual.

d) Determinar el nuevo consumo horario (E_r), en KWH/h del equipo, a partir de la reducción de la temperatura de trabajo. Anotar este valor en la " TABLA XLVI ".

EQUIPOS	Consumo Horario Actual de Electricidad Ea(KWH/h)	Consumo Horario Nuevo de Electricidad Er(KWH/h)	Reducción de Pérdidas R(KWH/h)	Horas de Funcionamiento h (h/mes)	Potencial de Economía Media Mensual Pe(KWH/mes)
(PE) Potencial de Economía Media Mensual					

T A B L A XLVI

POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELECTRICA CON ADECUADOS NIVELES DE TEMPERATURA

- e) Calcular la reducción de consumo de energía eléctrica (R), efectuando la diferencia entre los valores obtenidos. Anotar este valor en la " TABLA XLVI ".

$$R = E_a - E_r \quad (60)$$

donde:

R = Reducción de consumo horario de electricidad (KWH/h).

E_a = Consumo horario actual de electricidad (KWH/h).

E_r = Consumo horario nuevo de electricidad con temperatura reducida (KWH/h).

- f) Estimar el número medio mensual de horas de cada equipo. Anotar este valor en la " TABLA XLVI ".
- g) Calcular el potencial de economía de energía eléctrica utilizando la siguiente expresión.

$$P_e = R \times h \quad (61)$$

- h) Sumar los valores de (P_e) determinados por los

equipos y anotar este valor en el final de la " TABLA XLVI " .

0.3 Programación de trabajo para economía de energía.

Una práctica muy común, en una industria, consiste en utilizar los equipos eléctricos sin una adecuada programación de trabajo; muchas veces se operan hornos con cargas menores a la capacidad del equipo. Otro hecho muy común es la utilización simultánea de varios hornos existentes en una industria, tarea que puede ser ejecutada con uno o dos hornos desconectados realizando una programación de producción adecuada.

Las empresas deben hacer una programación de producción para el mínimo uso de energía, sin causar trastornos en atender las necesidades de producción, pudiendo conseguirse significativas reducciones de consumo de energía, disminuyendo los costos de producción. Para determinar el potencial de economía de electricidad que puede ser obtenido con este tipo de acción, se debe analizar, cuidadosamente, las prácticas adoptadas por el personal de producción, procurando identificar nuevas sistemáticas de trabajo donde se maximice el uso de los equipos eléctricos

próximo a su capacidad nominal de producción. Si es posible la implementación de este tipo de medida en la industria, se debe adoptar el siguiente orden:

- a) Determinar el consumo actual (C_a) de cada equipo por unidad de pieza procesada. Procurar adoptar algún índice de tipo "KWH/tonelada de pieza procesada" o cualquier otra unidad similar. Anote este valor en la " TABLA XLVII ".
- b) Determinar el consumo de electricidad (C_o) por unidad de pieza producida, que se verifica con la adopción de nuevas medidas operacionales. Anote este valor en la " TABLA XLVII ".
- c) Determinar la producción media mensual (X) del equipo, anotando este valor en la " TABLA XLVII ".
- d) Calcular el potencial de economía de energía eléctrica con la siguiente expresión:

$$P_E = (C_a - C_o) \cdot X \quad (61)$$

donde:

P_E = Economía media mensual de electricidad con

programación adecuada de producción (KWH/mes)

C_a = Consumo específico actual de electricidad por unidad de pieza producida (KWH/t o otra unidad similar).

C_o = Consumo específico nuevo de electricidad a partir de la implantación de medidas de programación de producción (KWH/t u otra unidad similar).

X = Producción media mensual del equipo (u otra unidad similar).

e) Efectuar la suma de las economías obtenidas y anotar este valor al final de la " TABLA XLVII ".

8.4 Desconexión de equipos eléctricos en horas de no utilización.

Otro aspecto a ser considerado en la utilización de equipos eléctricos es respecto a los momentos en que estos artefactos son mantenidos en operación sin real necesidad, y que puede llevar a desperdicios considerables de energía.

Para evaluar estas pérdidas continuar con el siguiente procedimiento:

- a) Analizar la sistemática de operación de los equipos eléctricos procurando observar los momentos en que estos equipos son mantenidos en operación sin carga alguna, o por necesidad operacional, son mantenidos calientes en niveles muy elevados de temperatura.
- b) Determinar el consumo medio horario (E_a), en KWH/h, de estos equipos en tales intervalos de tiempo. Anotar este valor en la " TABLA XLVIII ".
- c) Restringir el tiempo de funcionamiento de estos equipos a los intervalos efectivamente necesarios. Si es necesario mantenerlo caliente, determinar la temperatura mínima utilizable y verificar el consumo medio horario (E_o) de la electricidad en estos horarios. Anote este valor, en la " TABLA XLVIII ".
- d) Estimar el número medio de horas mensuales (h) que el equipo será mantenido en tales condiciones. Anotar este valor en la " TABLA XLVIII ".
- e) Calcular el potencial de economía mensual de energía eléctrica a partir de la siguiente expresión:

$$P_E = (E_a - E_o) \times h \quad (62)$$

donde:

P_E = Potencial de economía media de electricidad (KWH/m).

E_a = Consumo actual del equipo en los horarios de no utilización (KWH/h).

E_o = Consumo optimizado del equipo (KWH/h).

h = Número medio mensual de horas de utilización del equipo en la nueva condición.

Transcribir este valor en la " TABLA XLVIII ".

- f) Sumar los valores de (P_E) determinados para los diversos equipos y anotar este valor al final de la " TABLA XLVIII ".

CAPITULO 9

POTENCIAL TOTAL DE ECONOMIA

Dependiendo del tipo de industria, el potencial de economía de energía eléctrica puede ser bastante diferente. Por ejemplo, en una fundición de hornos eléctricos se puede presentar un elevado potencial de economía de electricidad, mientras que en una industria que presenta una gran cantidad de motores eléctricos, pueden estar desperdiciando mucha energía eléctrica.

Una vez analizado todos los capítulos de esta tesis y llenadas las Tablas pertinentes que se presentan, transferimos las sumas finales de potencial de cada uno de ellos en las respectivas columnas de la " TABLA IL ".

La suma de las columnas de la " TABLA IL " suministran las potencias totales de reducción de demanda (KW); de economía de energía eléctrica (KWH/mes), y de reducción de pérdidas (S/.). Transportar los valores encontrados para los respectivos espacios reservados en la parte inferior de la Tabla. Para tener una idea aproximada de las ganancias que pueden obtenerse con la implementación de las medidas propuestas, aplique el valor respectivo de

TITULO	SUB-TITULO	Tabla de Refer.	Prd (KW)	Pg (KWh/m)	E (S/)
Análisis de Consumo de Energía Eléctrica	Demanda	XI			
	Factor de Carga	XII			
	Factor de Potencia	XIII			
Transformador	Pérdidas por Hierro	XVI			
	Pérdidas por Cobre	XVII			
	Pérdidas de Transf. conect. en parale.	XVIII			
Circuitos de Distribución	Utilización de Nivel de Tensión Adec.	XIX			
	Reubicación de Transformador	XX			
	Dimensionamiento adecuado de Conductor.	XXI			
Motores	Dimensionamiento adecuado de Motores.	XXIV			
	Utilización Racional de Equipos	XXV			
Iluminación	Utilización de Iluminación Eficiente	XXXIV			
	Administración del Sistema de Iluminación	Reducción de Iluminación	XXXV		
		Cambio Ejecución Limpieza Nocturna	XXXVI		
		Desconexión de Luminar. en horas no utilización	XXXVII		
		Individualización de Comandos de Iluminación	XXXVIII		
Otros Equipos	Mejoría Aislamiento Térmico.	XLIV XLV			
	Adecuación de niveles Temperat usadas.	XLVI			
	Programa de Trabajo para Economizar Energía	XLVII			
	Desconexión de Equipos en horas no utilización	XLVIII			
S U M A N					
Economía de Demanda.	1.- Prd. x Tarifa Demanda en sucres / KW.			S/.	
Economía por Consumo	2.- Pg x Tarifa de Consumo en sucres / KWH.			S/.	
Otras Economías	3.- E			S/.	
POTENCIA TOTAL DE ECONOMIA (1+2+3)				S/	

T A B L A I L
POTENCIA TOTAL DE ECONOMIA

la tarifa correspondiente a los valores totales de KW y KWH/mes, y sume los resultados al total en sucres ya obtenidos (1 + 2 + 3).

Recordemos que la aplicación simultánea de varias de las medidas propuestas, pueden causar una sobreposición de efectos de la cual resulte un potencial total de economía diferente del valor que se obtiene por la suma de las economías calculadas con la aplicación separada de cada una de las medidas consideradas.

Una vez conocido el valor aproximado del potencial de economía, la aplicación efectiva de las medidas que se darán económicamente atrayente debe ir antecedida de un estudio detallado en el cual deben ser utilizadas las cantidades que realmente se aplican en cada caso.



APLICACION PRACTICA EN TEXCON S. A.

1. DESCRIPCION DE LA FABRICA.

TEXTILES CONTINENTALES S. A. esta ubicada en el Km. 4 de la Via Durán-Tambo, con una carga instalada de 1746 KW. y una demanda contratada de 340 KW. con la Empresa Eléctrica Regional Guayas Los Rios S. A., donde se produce telas para la confección y decoración del hogar, siendo estas de lana, fibra sintética o mezclada.

2. DESCRIPCION TECNICA.

Para desarrollar esta metodología se contó con la colaboración del Jefe del Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Ing. Edisón Quintana, con quien se inició la inspección visual de la planta, a fin de conocer el proceso de producción e identificar los sistemas de consumo, los cuales fueron posteriormente evaluados, utilizando instrumentación portátil durante la ejecución de la metodología en mención.

3. APLICACION DE METODOLOGIA.

Inicialmente se verificó los instrumentos de medición de energía eléctrica instalados en la fábrica y posteriormente se evaluarán cada uno de los capítulos con el fin de determinar el Potencial de economía de energía eléctrica, detallando los puntos donde es posible ahorrar dicha energía en TEXCON S. A., y así poder presentar los resultados en las Tablas correspondientes.

3.1 Equipos de medición.

La alimentación es realizada a 13.8 KV y la medición realizada por la fábrica se lo hace en el lado de baja tensión, con un medidor de tres elementos y dos transformadores de corriente, lo cual es inadecuado; además el medidor esta descalibrado a favor de la fábrica con un error del 7%.

3.2 Análisis de las facturas de energía eléctrica.

3.2.1 Demanda.

Se deberá actualizar el contrato de deman-

da, debido a que la demanda facturada es superior tanto a la demanda contratada como a la registrada, por lo cual se esta pagando más de lo que se consume.

3.2.2 Factor de carga.

Es necesario que se adopte una sistemática de operación que proporcione un uso más racional de energía, tomando como base lo ocurrido durante el mes de Enero/89, donde el factor de carga fué de 0.62 (TABLA XII).

3.3 Transformadores.

3.3.1 Pérdidas de hierro.

Se sugiere desconectar los transformadores durante el cese de actividades, ya que la fábrica opera 5 días a la semana, 24 horas al día, desde las 8H00 del día Lunes hasta las 8H00 del Sábado. Durante el tiempo de desconexión se deberá transferir la carga de iluminación a un transformador de menor capacidad (TABLA XIV y TABLA XVI).

3.4 Motores.

3.4.1 Dimensionamiento de motores

Existe sobredimensionamiento de algunos motores, los cuales están trabajando ineficientemente, aumentando innecesariamente su consumo de energía, por lo deberán reemplazarse (TABLA XXII, TABLA XXIII y TABLA XXIV).

3.4.2 Utilización racional de motores.

Debe desconectarse los motores y máquinas cuando no son efectivamente utilizados, tal es el caso de 2 máquinas Continuas que generalmente trabajan con el 2% al 8% de los carretes y el Vaporizador que funciona antes de ser utilizado (TABLA XXV).

3.5 Iluminación.

3.5.1 Reducción de iluminación.

Existen áreas donde es posible reducir la iluminación, realizando un intercambio de

lámparas quemadas y de lámparas en buen estado, sin afectar la producción (TABLA XXXV).

3.5.2 Desconexión de iluminación en horas de no utilización.

Existen áreas de trabajo que permanecen con las luces encendidas cuando el personal que labora en dichas áreas no se encuentra presente, por lo cual deben apagarse (TABLA XXXVII).

3.5.3 Individualización de comandos de iluminación.

Individualizando determinados interruptores se puede economizar energía eléctrica, tal como en el caso de la Sección de Hilatura, donde en el área de control de calidad solo se labora 8 horas diarias, por lo cual no es necesario su iluminación durante todo el día.

4. POTENCIAL TOTAL DE ECONOMIA DE ENERGIA.

Los puntos evaluados anteriormente, han sido desarrollados partiendo de bases de niveles existentes de producción y horarios de operación, por lo cual el Potencial Total de Economía de Energía Eléctrica, aplicando esta metodología, se determina en la TABLA IL, estimándose un ahorro mensual de S/. 281,712.00.

Mes	E N E R G I A E L E C T R I C A						
	(1) Consumo (C) (KWH)	D E M A N D A			(5) Factor de Potencia (Cos φ) (FP)	(6) Ajuste de Factor de Potencia (S/)	(7) Factor de Carga (FC)
		(2) Registrada (Dr) (KW)	(3) Contratada (Dc) (KW)	(4) Facturada (Df) (KW)			
Marzo/89	339.150	892,5	840	1.029	0,95	----	0,52
Febr./89	284.550	892,5	840	1.029	0,95	----	0,44
Enero/89	401.100	892,5	840	1.029	0,95	----	0,62
Dic./88	348.600	871,5	840	1.029	0,95	----	0,55
Nov./88	386.400	997,5	840	1.029	0,95	----	0,53
Octb./88	421.050	1.018,5	840	1.029	0,95	----	0,57
Sept./88	421.050	1.029,0	840	1.029	0,94	----	0,56
Agos./88	389.550	913,5	840	956	0,95	----	0,58
Julio/88	338.100	892,5	840	956	0,95	----	0,52
Junio/88	362.250	924,0	840	956	0,95	----	0,54
Mayo/88	358.950	892,5	840	956	0,94	----	0,55
Abril/89	355.950	903,0	840	956	0,96	---	0,54

T A B L A X

CONDICIONES ACTUALES DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

M e s	Demanda Facturada D _f (Kw)	Demanda Registrada D _r (Kw)	Potencial de Reduccion de Demanda Prd (Kw)
Marzo/89	1.029	893	136
Febr./89	1.029	893	136
Enero/89	1.029	893	136
Dic./88	1.029	872	157
Nov./88	1.029	998	31
Oct./88	1.029	1.019	10
Agos./88	956	914	42
Julio/88	956	893	63
Junio/88	956	924	32
Mayo/88	956	893	63
Abril/88	956	903	53
			72
Potencial de Reducción de Demanda (Medio) (Prd)			

T A B L A X I
POTENCIAL DE REDUCCION DE DEMANDA

M e s	Demanda Registrada D _r (Kw)	Demanda Registrada Nueva D _n (Kw)	Potencial de Reduccion de Demanda Prd (Kw)
Marzo/89	892,5	745,5	147,0
Febr./89	892,5	630,0	262,5
Dic./88	871,5	766,5	105,0
Nov./88	997,5	861,0	136,5
Oct./88	1.018,5	934,5	84,5
Sept./88	1.029,0	934,5	94,5
Agos./88	913,5	861,0	52,5
Julio/88	892,5	745,5	147,0
Junio/88	924,0	798,0	126,0
Mayo/88	892,5	798,0	94,5
Abril/88	903,0	787,5	115,5
			114,0
Potencial de Reducción de Demanda (Medio) (Prd)			

T A B L A X I I
**POTENCIAL DE REDUCCION DE DEMANDA
CON MEJORIA DEL FACTOR DE CARGA**

TRANSFORMADOR	Potencia Nominal P _n (KVA)	Pérdidas de Hierro p _h (W)	Pérdidas Totales P _T (W)	Voltaje Nominal V (Volt)
N ^o 1	333	1.832	2.528	120/240
N ^o 2	333	1.832	2.528	120/240
N ^o 3	333	1.832	2.528	120/240

T A B L A X I V
C A R A C T E R I S T I C A S N O M I N A L E S D E L O S T R A N S F O R M A D O R E S

TRANSFORMADOR	Horas de Destonexión h (h/mes)	Pérdidas de Hierro ph (w)	Potencial de Economía Fg (KWH/mes)
Nº 1	192	1.832	160
Nº 2	192	1.832	160
Nº 3	192	1.832	160
			480
Potencial de Economía Medio Mensual (PE)			

T A B L A XVI

POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA DESCONECTANDO LOS TRANSFORMADORES

MOTOR	Potencia. Nominal Pn (Hp)	Tensión de Operación V (Volt)	Corriente de Operación I (Amp)	Factor de Potencia (Fp)	Potencia Activa Pa (W)	Rendimiento (%)	Potencia Util Pu (Hp)	Relación Potencia Util-Nominal Pu/Pn
SECADORA	75	220	180	0,88	60.358	94	77,0	1,02
ROTAR S. #1	45	220	94	0,80	28.655	91	35,4	0,78
ROTAR S. #2	25 33	220	59	0,81	18.210	90	22,3	0,68
AUTO CLAVE #1	32,5 45	220	68	0,70	18.138	90	22,2	0,50
AUTO CLAVE #2	20,0 25 26,8	220	30	0,53	6.059	80	6,6	0,27
AUTO CLAVE #3	25.0 33	220	40	0,50	7.612	80	8,2	0,25
RETORCEDORA	30 40 40.2	220	54	0,52	10.700	84	12,2	0,30

TABLA XXII
USO ACTUAL DE LOS MOTORES INSTALADOS.

MOTOR	Potencia Util Pu (Hp)	Potencia Escogida Pe (Hp)	Relación entre Potencia Util y Escogida Pu / Pe	Corriente Nueva Ie (Amp)	Factor de Potencia Cos ϕ	Potencia Activa Nueva Pt (W)
ROTAR S. #2	22,3	25	0,89	57	0,82	17.789
AUTO CLAVE #1	22,2	25	0,88	56	0,82	17.477
AUTO CLAVE #2	16,6	7,5	0,88	18	0,83	5.686
AUTO CLAVE #3	18,2	10	0,82	23	0,79	6.916
RETORCEDORA	12,2	15	0,81	32	0,82	9.987

TABLA XXIII

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS NUEVOS MOTORES ESCOGIDOS.

MOTOR	Potencia Activa Actual P_a (W)	Potencia Activa Nueva P_t (W)	Diferencia Entre Potencias Activa Actual y Nueva $P_a - P_t$ (W)	Horas de Funcionamiento h(h/mes)	Potencial de Economía P_e (KWH/mes)
ROTAR S. # 2	18.210	17.789	421	521 (5)	1.095
AUTO CLAVE #1	18.138	17.477	661	521	344
AUTO CLAVE #2	6.059	5.686	373	521	194
AUTO CLAVE #3	7.612	6.916	692	521	360
RETORCEDORA	10.700	9.987	713	521 (4)	2.084
Potencial de Economía Media Mensual (P_e)					4.077

TABLA XXIV
DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE MOTORES.

MOTOR	Voltaje Actual V (Volt)	Corriente Actual I (Amp)	Factor de Potencia Cos ϕ	Potencia Activa Pa (W)	Horas de Funcionamiento h (h/mes)	Potencial de Economía PE (KWH/mes)
CONTINUA # 8	220	70	0,78	20.781	40	831
CONTINUA # 9	220	70	0,78	20.781	20	456
VAPORIZADOR	220	26	0,81	9.895	20	198
Potencial de Economía Media Mensual: (PE)						1.485

TABLA XXV
UTILIZACION RACIONAL DE MOTORES

LOCAL DE TRABAJO	Potencia instalada Pi (W)	Area de Local S. (m ²)	Horas de Utilización h (h/mes)	Relacion actual entre Potencia instalada y el Area ra (W/m ²)
HILATURA # 1	8.640	548	522	15.76
HILATURA # 2	8.640	548	522	15.76

T A B L A . XXVII

SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ILUMINACION.

LOCAL DE TRABAJO	Iluminación: I_p (lux)	Eficiencia Media (lm/W)	Coefficiente de Utilización u	Factor de Depreciación D	Relación Eficiente Entre Potencia Instalada y Area P_a (W/m ²)
HILATURA # 1	1.000	120	0,72	0,81	14,3
HILATURA # 2	1.000	120	0,72	0,81	14,3

T A B L A X X X
 ILUMINACION MAS EFICIENTE

LOCAL DE TRABAJO	Diferencia entre Relaciones actuales y Eficiencias de Iluminación W/m ²	Potencial de Reducción de Demanda Prd (KW)	Potencial de Economía PE (KWH/mes)
HILATURA # 1	1,46	0,13	68
HILATURA # 2	1,46	0,13	68
(Prd) Potencial de Reducción de Demanda		0,26	
(PE) Potencial de Economía Media Mensual			136

T A B L A XXXIV.

POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA CON ILUMINACION EFICIENTE

LOCAL DE TRABAJO	DESCONEXION				Potencial de Reducción de Prd (KW)	Horas de Desconexión h (h/mes)	Potencial de Economía PE(KWH/mes)
	LAMPARAS		BALASTROS				
	Potencia P ₁ (W)	Cantidad n ₁	Pérdida P ₂ (W)	Cantidad n ₂			
PREHILATURA	192	19	31,5	19	4,25	522	2.218
TEJEDURIA	192	12	31,5	12	2,68	522	1.399
Potencial de Reducción de Demanda Media (Prd)					6,93		
Potencial de Economía Media Mensual (PE)							3.617

TABLA XXXV
REDUCCION DE ILUMINACION

LOCAL DE TRABAJO	DESCONEXION				Horas de Desconexión h (h/mes)	Potencial de Economía PE (KWH/mes)
	LAMPARAS		BALASTROS			
	Potencia p1(W)	Cantidad n1	Pérdida p2(W)	Cantidad n2		
JEFE HILATURA	40	4	17,0	4	21	4,8
JEFE TURNO HILAT.	40	1	17,0	1	126	7,2
DPTO. ELECTRICO	40	6	17,0	6	110	37,6
DPTOS. ADMINIST.	40	8	17,0	8	21	9,6
DPTOS. ADMINIST.	96	2	31,5	2	21	5,3
CHAMUSCADORA	96	5	31,5	5	126	80,3
Potencial de Economía Media Mensual (PE)						144,8

T A B L A X X X V I I
DESCONEXION DE ILUMINACION EN HORAS DE NO UTILIZACION

TITULO	SUB-TITULO	Tabla de Refer.	Prd (KW)	Pe (KWh/m)	E (S/)	
Análisis de Consumo de Energía Eléctrica	Demanda	XI	72			
	Factor de Carga	XII	114			
	Factor de Potencia	XIII				
Transformador	Pérdidas por Hierro	XVI		480		
	Pérdidas por Cobre	XVII				
	Pérdidas de Transf. conect. en parale.	XVIII				
Circuitos de Distribución	Utilización de Nivel de Tensión Adec.	XIX				
	Reubicación de Transformador	XX				
	Dimensionamiento adecuado de Conductor	XXI				
Motores	Dimensionamiento adecuado de Motores	XXIV		4.077		
	Utilización Racional de Equipos	XXV		1.485		
Iluminación	Utilización de Iluminación Eficiente	XXXIV		136		
	Administración del Sistema de Iluminación	Reducción de Iluminación	XXXV	6,93	3.617	
		Cambio Ejecución Limpieza Nocturna	XXXVI			
		Desconexión de Luminar en horas no utilización	XXXVII		144,8	
		Individualización de Comandos de Iluminación	XXXVIII		344,2	
Otros Equipos	Mejoría Aislamiento Térmico	XLIV XLV				
	Adecuación de niveles Temperat usadas	XLVI				
	Programa de Trabajo para Economisar Energía	XLVII				
	Desconexión de Equipos en horas no utilización	XLVIII				
S U M A N			192,93	10.284		
Economía de Demanda	1.- Prd. x Tarifa Demanda en sucres / KW.			S/ 96.500,=		
Economía por Consumo	2.- Pe x Tarifa de Consumo en sucres / KWH.			S/ 185.112,=		
Otras Economías	3.- E			S/		
POTENCIA TOTAL DE ECONOMIA (1+2+3)				S/ 281.612,=		

T A B L A I L
POTENCIA TOTAL DE ECONOMIA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con la aplicación de esta metodología, se pueden reducir los costos de insumos en la industria, obteniendo la misma producción con menores necesidades de energía eléctrica. Siendo así, es necesario mantener información de datos de consumo de electricidad en cada sección de una industria por medio de medidores que censan este tipo de energía, con el fin de conocer la relación Producción vs Consumo.
- Esta metodología presenta reglas de fácil ejecución, las cuales tienen efecto sobre el uso eficiente de la energía eléctrica en las aplicaciones de la industria.
- Para implemetar esta metodología es necesario partir de condiciones reales de la industria sean óptimas o precarias, con el fin de obtener el Potencial real de economía de energía eléctrica. En la práctica puede variar el resultado total, debido a que algunos resultados parciales se interrelacionan.
- Es importante concientizar al personal de la industria, en el uso racional de energía eléctrica, con el fin de colabrar en la reducción de las pérdidas.

ANEXO A

ELECCION DE LA CORRIENTE PRIMARIA NOMINAL DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TENIENDO EN CUENTA EL TIPO DE CONSUMIDOR

Es muy importante en la práctica la adecuada elección de la corriente primaria nominal en los transformadores de corriente (TC), que serán empleados en la medición de energía eléctrica, teniendo en cuenta el tipo de consumidor, debido a las variaciones de carga conectada al sistema.

El procedimiento normal es escoger los TC de tal forma que la corriente solicitada por la carga se sitúe por lo menos del 50% al 60% de la corriente nominal de los mismos.

Para los consumidores cuya carga es prácticamente constante (sobre todo consumidores grandes), la elección de los TC no ofrece mayores dificultades. No ocurre lo mismo cuando la carga sufre grandes variaciones.

Es interesante recordar que:

- a) Los medidores americanos y brasileños fabricados para utilizarse con TC, son de corriente nominal 2,5 Amperios y corriente máxima 10 Amperios, siendo por lo tanto una clase de excitación garantizada desde 0,25 Amperios hasta 10 Amperios.
- b) Los TC tienen clase de excitación garantizada desde 10% de la corriente nominal hasta la corriente máxima, esto es, hasta 100% de la corriente nominal multiplicada por el factor térmico nominal.

Para tener una idea, vamos a citar dos ejemplos.

EJEMPLO No 1

Una pequeña industria es alimentada a través de un transformador propio de 112.5 KVA., 13.800/380-220 Voltios. Dimensionar la corriente primaria nominal de los TC que serán empleados en la medición de la energía eléctrica, sabiendo que esta será hecha en el lado de baja tensión por medio de un medidor con indicador de demanda.

SOLUCION:

La corriente nominal del lado secundario del transformador

de 112.5 KVA. es del orden de los 170 Amperios Vamos analizar dos posibilidades:

- 1.- Si fueran empleados TC de corriente primaria nominal 400 Amperios, relación nominal 80:1, se tiene:
 - a) La corriente máxima a ser solicitada por la carga (170 Amperios) es menor del 50% de la corriente primaria nominal de los TC, lo cual es inconveniente.
 - b) Las ocasiones en que la corriente solicitada por la carga sea inferior a 40 Amperios, los TC estarán fuera de la clase de excitación garantizada, habiendo una incerteza en la medición; y si la corriente es inferior a 20 Amperios estarán fuera de las respectivas clases de excitaciones garantizadas por los TC y el medidor, habiendo en este caso una incerteza aún mayor en los valores indicados por la medición.
- 2.- Si fueran empleados TC de corriente primaria nominal 200 Amperios, relación 40:1, se tiene:
 - a) La corriente máxima a ser solicitada por la carga (170 Amperios) es mayor al 60% de la corriente

primaria nominal de los TC, siendo esto una ventaja.

- b) Solamente en ocasiones en que la corriente solicitada por la carga es inferior a 20 Amperios, es que estos TC estarán fuera de la clase de excitación garantizada, y solamente cuando esta sea inferior a 10 Amperios, es que el medidor estará también fuera de su clase de excitación garantizada.

CONCLUSION:

Para este consumidor deben ser empleados transformadores de corriente nominal 200 Amperios y relación nominal 40:1.

EJEMPLO No 2

Analizar el EJEMPLO No 1 considerando un consumidor con grandes variaciones de carga.

SOLUCION:

En este caso es preferible emplear transformadores de corriente con las siguientes características:

a) Corriente primaria nominal: 100 Amperios.

b) Relación nominal: 20:1

c) Factor térmico nominal: 2,0

La clase de excitación de estos TC es garantizada para corriente primarias desde 10 Amperios hasta 200 Amperios. Sin embargo, cuando la corriente llegue a valores entre 5 y 10 Amperios, los TC estarán fuera de la clase de excitación, mientras que por el medidor estará circulando una corriente superior de 0.25 Amperios, la cual se encuentra dentro de la clase de excitación garantizada, dando así un resultado más confiable que si se emplearan los TC de corriente primaria nominal 200 Amperios y relación 40:1.

Un cuidado especial debe ser dado a la elección del medidor a ser empleado en tal medición, puesto que su escala de demanda máxima debe estar compatible con la corriente máxima que puede ser solicitada por la carga.

Los conductores secundarios de los TC deben ser dimensionados teniendo en cuenta la corriente máxima que por ellos circulará y no solamente por la corriente secundaria nominal de 5 Amperios.

CONCLUSION:

Para un consumidor de grandes variaciones de carga es conveniente el empleo de los transformadores de corriente nominal primaria inferior a la corriente máxima que podrá ser solicitada por la carga, por lo cual los TC deben tener factor térmico 2,0 o mayor, conforme al caso.

ANEXO B

PLIEGO TARIFARIO APLICADO A USUARIOS INDUSTRIALES

A. SERVICIO INDUSTRIAL.

Esta tarifa se aplicará a los abonados al servicio industrial que se definen como tales en el artículo 23 literal c) del Reglamento de Tarifas.

A.1 TARIFA INDUSTRIAL ARTESANAL (I-A)

APLICACION: Esta tarifa se aplicará a los abonados al servicio industrial, que utilicen el servicio eléctrico en trabajos de artesanía o pequeña industria y cuya carga instalada sea de hasta 10 KW.

CARGOS: S/..... mensuales como mínimo de pago con derecho a un consumo de hasta 100 KWH.

S/._____ por cada uno de los siguientes 400 KWH de consumo durante el mes.

S/._____ por cada uno de los siguientes 500 KWH de consumo adicional en el mes.

S/._____ por cada KWH de consumo adicional en el mes.

Aquellos abonados cuyos consumos sean superiores a 2000 KWH, la empresa deberá revisar necesariamente la carga instalada, para proceder a un ajuste en su ubicación tarifaria si el caso lo amerita.

A.2 TARIFA INDUSTRIAL CON DEMANDA I (I-D1)

APLICACION: Esta tarifa se aplicará a los abonados del servicio industrial cuya carga instalada sea mayor a 10 KW y hasta una demanda facturable de 1000 KW.

CARGOS: S/._____ mensuales por cada KW de demanda facturable como mínimo de pago sin derecho a consumo.

S/._____ por cada KWH de consumido durante el mes.

A.3 TARIFA INDUSTRIAL CON DEMANDA II (I-D2)

APLICACION: Esta tarifa se aplicará a los abonados del servicio industrial cuya demanda facturable sea mayor a 1000 KW y cuente con los equipos de medición necesarios para establecer la demanda máxima de la industria durante las horas de pico de la empresa eléctrica (18H00 a 21H00) y la demanda máxima de la industria.

En caso de no disponer de este equipamiento se le facturará como "I-D1".

CARGOS: S/._____ mensuales por cada KW de demanda máxima como mínimo de pago sin derecho a consumo, multiplicando

por un factor de corrección (FC),
que se lo obtiene de la relación:

$$FC = \frac{DP}{DM}$$

donde:

DP = Demanda máxima registrada en la
industria en horas de pico de la
empresa eléctrica (18H00 a
21H00).

DM = Demanda máxima de la industria
durante el mes.

En ningún caso este factor de corrección deberá ser menor que 0.60. La demanda máxima a facturarse no podrá ser menor al 70% de la demanda facturable de la industria definida en el literal J1.

S/._____ por cada KWH de consumo durante el mes, correspondiente a los primeros 200 KWH/KW de demanda máxima registrada en el mes.

S/._____ por cada KWH de consumo durante el mes, correspondiente a los siguientes 200 KWH/KWH de demanda máxima registrada en el mes.

S/._____ por cada KWH de consumo adicional en el mes.

A.4 TARIFAS PARA CONSUMOS ESTACIONALES

APLICACION: Los usuarios industriales que tengan un consumo de tipo estacional podrán opcionalmente acogerse a esta tarifa, la cual será aplicada únicamente en el periodo de utilización que hayan acordado con la empresa.

CARGOS: Se aplicarán los cargos de la tarifa industrial que le corresponda, incrementando el cargo por demanda en el 100%. En esta tarifa la demanda facturable será la demanda máxima registrada en el mes, la cual no podrá ser inferior a la demanda contratada.

B. DEMANDA FACTURABLE.

Por demanda facturable se entiende la máxima demanda registrada en el respectivo medidor de demandad durante los últimos 12 meses incluido el de facturación.

Cuando la instalación del abonado no tenga medidor de demanda máxima, la demandada facturable se computará de la siguiente manera:

El 100% de los primeros 20 KW de carga instalada.

El 80 % de los siguientes 30 KW de carga instalada.

El 70 % de los siguientes 50 KW de carga instalada.

El 60 % del exceso.

Cualquier fracción que resulte del registro de medidores de demandada máxima o del cálculo indicado, se asimilará el entero próximo superior.

C. CLAUSULA DEL FACTOR DE POTENCIA.

En el caso de que el factor de potencia sea menor a 0.9, la factura mensual será recargada en la relación por cuociente entre 0.9 y el correspondiente factor de potencia obtenido en el registro. Este reajuste

por bajo factor de potencia se le aplicará a los abonados de tarifa industrial I D2 y formará parte de su planilla mensual cuyo valor sirve para calcular el 10% de electrificación rural, según Decreto 124 de 15 de Abril de 1.983, publicado en el Registro Oficial No 467 de Abril 8 de 1.983.

ANEXO C

MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA

1.- Operación de motores de inducción a plena carga.

La potencia nominal del motor debe aproximarse lo más posible a la demanda de potencia de la máquina accionada. Si el motor está dimensionado en exceso resultan las siguientes consecuencias:

- a.- Mayor intensidad de arranque, por lo cual se necesitan arrancadores y protecciones mayores y una mayor sección en el conductor.

- b.- Servicio antieconómico, puesto que el factor de potencia y, bajo ciertas circunstancias, el rendimiento a carga parcial es inferior que a plena carga. Entre el 75% y 100% de la carga, varía poco el rendimiento.

Cuando la potencia de la máquina accionada es inferior a la potencia nominal del motor, éste tendrá valores de servicio más desfavorables que los indicados en las tablas de selección que figuran en los

catálogos, que siempre son referidos a la potencia nominal o sea al 100% de carga, al voltaje y a la potencia nominal.

En la " TABLA L ", se indican los valores de factor de potencia a varios porcentajes de carga de la nominal. De la Tabla en mención se desprende que para mejorar el factor de potencia, los motores eléctricos deben operar lo más cerca posible a la potencia nominal o sea a plena carga.

2.- Motores sincrónicos.

Los motores sincrónicos se usan algunas veces en lugar de los motores de inducción debido a su habilidad de mantener un alto factor de potencia. Estos motores pueden hacer muchos de los trabajos que hacen los motores de inducción y, si trabajan descargados, no necesitan corrección del factor de potencia. Cuando su carga es baja o cuando no se les aplica ninguna carga, el motor sincrónico puede compensar el bajo factor de potencia de los otros equipos del mismo sistema de distribución.

Generalmente, el costo de la instalación de un motor sincrónico es muy alto comparado con el costo de la

H. P.	Velocidad R. P. M.	% Factor de Potencia		
		1/2 carga	3/4 carga	Plena carga
1	1720	61	72	80
1	1135	51	66	74
1	855	44	56	63
1-1/2	3500	61	74	80
1-1/2	1740	62	75	82
1-1/2	1125	62	74	80
1-1/2	875	45	56	65
2	3470	68	77	83
2	1740	68	78	84
2	1140	60	71	78
2	865	51	65	72
3	3420	73	82	85
3	1720	71	82	87
3	1160	60	72	81
3	860	56	68	73.5
5	3460	72	80	85
5	1735	75	83	88
5	1155	64	77	83
5	860	59	71	77
7-1/2	3450	75	84	88
7-1/2	1745	82	87	88
7-1/2	1160	70	80	83
7-1/2	865	58	71	76
10	3470	82	89	91
10	1750	75	83	85
10	1160	75	82	85
10	875	59	71	77
15	3500	81	87	88
15	1740	81	85	85
15	1165	74	82	85
15	875	60	71	77
20	1760	72	82	86
20	1170	74	82	85
20	875	63	74	78

TABLA L

FACTOR DE POTENCIA DE LOS MOTORES A CARGA PARCIAL DE LA POTENCIA NOMINAL
220, 440 voltios, 3 fases, 60 ciclos, Motores de inducción jaula de ardilla. (1-20 HP)

H. P.	Velocidad R. P. M.	% Factor de Potencia		
		1/2 carga	3/4 carga	Plena carga.
25	1760	75	83	87
25	1170	74	82	85
25	880	69	78	81
30	1760	81	87	88.5
30	1175	74	82	85
30	880	70	79	83
40	1765	83	88	89.5
40	1175	76	83.5	86
40	875	65	75	80
50	1765	84	89	89.5
50	1170	77	84	87
50	875	70	79	82
60	1775	80	87	88.5
60	1175	75	83	87
60	875	70	78.5	83
75	1775	80	88	90
75	1180	75	83	86
75	875	70	82	85
100	1770	79	87	89
100	1180	78	85	88
100	870	71	83	86
100	705	64	76	81
125	1770	80	88	89.5
125	1180	75	84	88
125	890	70	81	85
125	705	66	78	83
150	1770	81	88	90
150	1175	78	86	89.5
150	875	70	81	85.
150	700	66	78	83
200	1770	80	88	90
200	1180	78	86	89.5
200	885	80	88	89
200	705	70	81	85.

TABLA L

FACTOR DE POTENCIA DE LOS MOTORES A CARGA PARCIAL DE LA POTENCIA NOMINAL
220-440 voltios, 3 fases, 60 ciclos. Motores de inducción jaula de ardilla. (25-200HP.)

instalación de un motor de inducción equivalente con su correspondiente equipo corrector del factor de potencia.

3.- Capacitores.

Los capacitores, o condensadores son la fuentes más comunes de KVARs capacitivos para mejorar el factor de potencia. Usualmente llamados capacitores "Shunt" se conectan en paralelo con la carga. Son equipos estáticos, sin partes móviles que se desgasten, que tienen alta eficiencia, larga vida y su instalación y mantenimiento es económica.

Los capacitores proporcionan un método altamente flexible para corregir el factor de potencia, ya que pueden ser instalados en cualquier parte y en cualquier cantidad; sirven para mejorar el factor de potencia de uno o todos los motores y pueden ser instalados en los puntos de un sistema donde sean más necesarios.

Las pérdidas de los capacitores son despreciables y si se dejan conectados a la línea cuando los motores se apagan, su consumo de potencia es insignificante.

Los capacitores pueden ser monofásicos y trifásicos, utilizados para instalaciones interiores y exteriores y para cualquier nivel de voltaje.

Para obtener mejores beneficios, como : reducción de las pérdidas, aumento de capacidad y regulación de voltaje, los capacitores deberán ser localizados tan cerca como sea posible a las cargas que requieran los KVARs capacitivos. Si es únicamente para disminuir el costo de energía, la localización de los capacitores puede ser alterada. La " TABLA LI " muestra los máximos KVARs requeridos cuando el motor y el capacitor se instalan como una unidad.

Para entender como los capacitores mejoran el factor de potencia, es necesario analizar la Figura C1. En esta Figura los picos de corriente y voltaje están desplazados por un ángulo máximo teórico de 90° .

En la Figura C2, se muestra un motor de inducción trabajando parcialmente cargado sin corrección de factor de potencia. Aquí el alimentador debe suplir tanto la corriente magnetizante (reactiva) como la corriente útil (activa).

Potencia del motor H. P.	Velocidad Nominal en RPM.											
	3600		1800		1200		900		720		600	
	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %	Capacitor KVAR	Reducción en la corriente de línea %
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
7-1/2	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 LI

MAXIMOS KVARs REQUERIDOS CUANDO EL MOTOR Y EL CAPACITOR SE INSTALAN COMO UNA UNIDAD

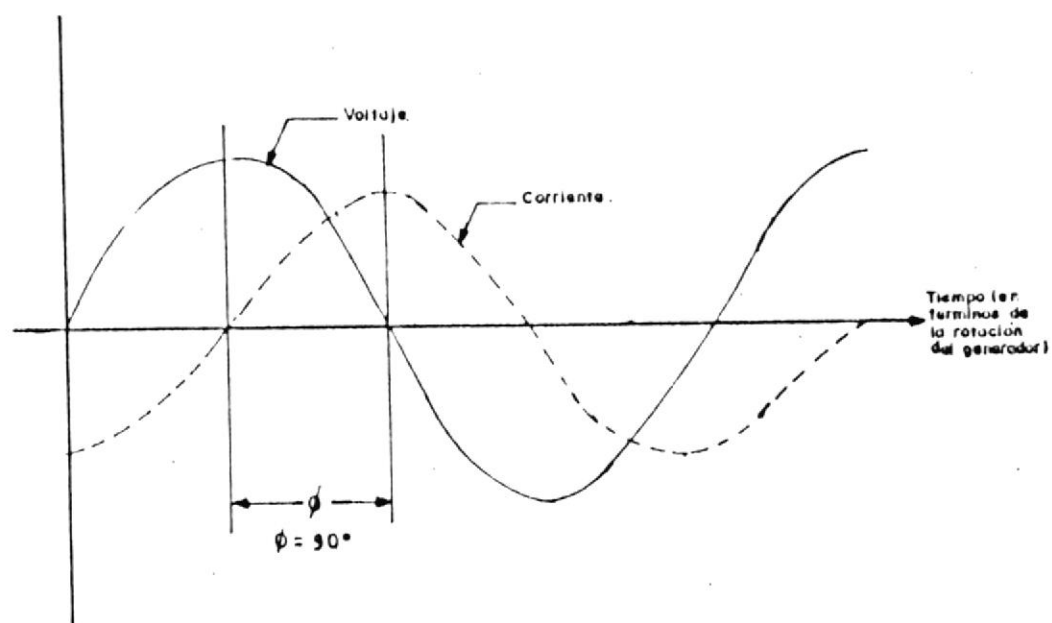


FIG. C1

DEFASEAMIENTO ENTRE CORRIENTE Y VOLTAJE EN UN CAPACITOR.

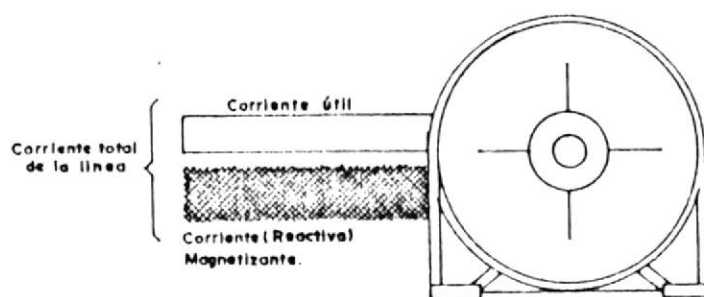


FIG. C2

MOTOR DE INDUCCION SIN CAPACITOR

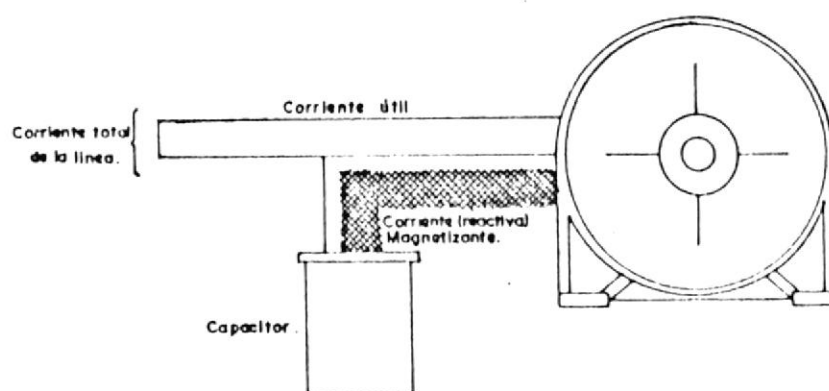


FIG. C3

MOTOR DE INDUCCION CON CAPACITOR

En la Figura C3, se muestra el resultado de instalar un capacitor cerca al mismo motor, para suministrar la corriente magnetizante requerida por el motor.

Existen dos métodos para corregir el factor de potencia por medio de capacitores. El primero es la instalación de un banco de capacitores conectados a la línea en algún punto central (subestación, tablero de distribución), lo cual generalmente solo sirve para reducir la penalización de la empresa eléctrica. El segundo método pero más efectivo es la instalación de capacitores individuales directamente a la fuente del bajo factor de potencia, lo que es, cerca a los motores, aumentando la capacidad del sistema, mejorando los niveles de voltaje y reduciendo las pérdidas del sistema.

De la " TABLA LII " y la " TABLA LIII " se pueden obtener, a diferentes voltajes, los calibres de los conductores, los amperajes de los fusibles y de los interruptores para la instalación de los capacitores individuales y en banco, respectivamente.

KVAR	Una Fase.				Tres Fases.			
	Corriente Nominal	Calibres de cables AWG/MCM	Fusibles Amperios	Interruptor Amperios	Corriente Nominal	Calibres de cables AWG/MCM	Fusibles Amperios	Interruptor Amperios.
240 Voltios.								
0.5	2.08	14	6	30	1.20	14	3	30
1.0	4.17	14	10	30	2.41	14	6	30
1.5	6.25	14	15	30	3.61	14	6	30
2.0	8.33	14	15	30	4.81	14	10	30
2.5	10.4	14	20	30	6.01	14	10	30
3	12.5	12	25	30	7.22	14	15	30
4	16.7	10	30	30	9.62	14	20	30
5	20.8	10	35	60	12.0	12	20	30
6	25.0	8	45	60	14.4	12	25	30
7.5	31.2	6	60	60	18.0	10	30	30
8	33.3	6	60	60	19.2	10	35	60
10	41.7	4	70	100	24.1	8	40	60
12.5	52.1	3	90	100	30.1	6	50	60
15	62.5	2	110	200	36.1	6	60	60
480 Voltios.								
1.0	2.08	14	6	30	1.20	14	3	30
1.5	3.12	14	6	30	1.80	14	3	30
2.0	4.17	14	10	30	2.41	14	6	30
2.5	5.21	14	10	30	3.00	14	6	30
3.0	6.25	14	15	30	3.61	14	6	30
4.	8.33	14	15	30	4.81	14	10	30
5	10.4	14	20	30	6.02	14	10	30
6	12.5	12	25	30	7.22	14	15	30
7.5	15.6	10	30	30	9.02	14	15	30
8	16.7	10	30	30	9.62	14	20	30
10	20.8	10	35	60	12.0	12	20	30
12	25.0	8	45	60	14.4	12	25	30
12.5	26.0	8	45	60	15.0	10	25	30
15	31.2	6	60	60	18.0	10	30	30
20	41.7	4	70	100	24.1	8	40	60

TABLA LII

CABLES, FUSIBLES E INTERRUPTORES RECOMENDADOS PARA LA INSTALACION DE CAPACITORES INDIVIDUALES.

K V A R	Una Fase				Tres Fases.			
	Corriente	Calibre	Fusibles	Interruptor	Corriente	Calibre	Fusibles	Interruptor.
	Nominal	de cables AWG o MCM	Amperios	Amperios	Nominal	de cables AWG o MCM	Amperios	Amperios.
240 Voltios.								
20	83.3	3	150	200	48.1	6	80	100
25	104	1	175	200	60.2	4	100	100
30	125	0	225	400	72.2	4	125	200
40	167	000	300	400	96.2	2	175	200
45	188	0000	350	400	108.	1	200	200
60	250	300	450	600	144	00	250	400
75	312	500	600	600	180	000	300	400
80	333	500	600	600	192	0000	350	400
90	375	600	800	800	216	250	400	400
100	417	750	800	800	241	300	400	400
105	438	800	800	800	253	300	450	600
120	500	1000	1000	1200	269	350	600	600
135	562	1500	1000	1200	325	500	600	600
150	-	-	-	-	361	600	600	600
180	-	-	-	-	434	250	800	800
240	-	-	-	-	578	350	1000	1200
270	-	-	-	-	675	300	1200	1200
360	-	-	-	-	868	400	-	-
480 Voltios.								
25	52.1	6	90	100	30.1	10	50	60
30	62.5	4	110	200	36.1	8	60	60
40	83.3	3	150	200	48.1	6	80	100
45	93.8	2	175	200	54.1	6	90	100
60	125	0	225	400	72.2	4	125	200
75	156	00	300	400	90.2	2	150	200
80	167	000	300	400	96.2	2	175	200
90	188	0000	350	400	108.	1	200	200
100	208	250	350	400	120	0	200	200
105	219	250	400	400	126	0	225	400
120	250	300	450	600	144	00	250	400
135	281	350	500	600	162	000	300	400
140	292	400	500	600	168	000	300	400
150	312	500	600	600	180	000	300	400
160	333	500	600	600	192	0000	350	400
240	-	-	-	-	288	00	600	600
320	-	-	-	-	384	0000	800	600
360	-	-	-	-	432	00	800	800
480	-	-	-	-	576	0000	1000	1200

TABLA LIII

CABLES, FUSIBLES E INTERRUPTORES RECOMENDADOS PARA LA INSTALACION DE CAPACITORES EN BANCO

BIBLIOGRAFIA

1. SOLON DE MEDERIOS FILHO, Medicao de Energia Eléctrica, (3ra. edición, Rio de Janeiro, Guanabara S.A., 1983).
2. BEEMAN, Industrial Power Systems Handbook (New York, McGraw-Hill, 1955).
3. INE, Técnicas y Análisis para Conservar Energia en la Industria (Quito, Instituto Nacional de Energia, 1984)
4. AGENCIA PARA APLICACAO DE ENERGIA, Manual de Economia de Energia Eléctrica na Industria - Usos Clássicos.
5. AGENCIA PARA APLICACAO DE ENERGIA, Seminario " Uso Racional de Energia Eléctrica na Industria ".
6. C. VEGA, Ingenieria Económica (Quito, Mediavilla Hnos. 1983).
7. ISA-ANDI, Manual de Ahorro de Energia en la Industria.
8. SIEMENS, Catálogo " Equipo Eléctrico Industrial ", (Sección 1: Motores - Motorreductores, RFA.).

9. RELIANCE ELECTRIC, Guía para la Conservación de la Energía, " Eficiencia de Motor de C.A. (USA, 1981).