

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS
EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

ALDO LUIS MEZA VILCAPOMA

PROMOCIÓN
1996-II

LIMA-PERÚ
2003

Dedico este trabajo a mi familia
por su invaluable apoyo en mi
formación profesional.

**“EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS
EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA”**

SUMARIO

El presente Informe de Suficiencia trata sobre la evaluación de las pérdidas en transformadores para su optimización según su uso, se analizará el caso de un transformador de 17.2 MVA. El informe se ha dividido en cinco capítulos.

El capítulo I, presenta generalidades como características del transformador en uso, conceptos básicos usados en el presente informe, criterios de optimización del transformador.

El capítulo II, describe las pérdidas en el transformador, el efecto de los armónicos en los transformadores, el factor K del transformador y las pruebas para obtener los parámetros de pérdida de potencia en el hierro y en el cobre.

El capítulo III, describe las características de servicio del transformador, se hace los cálculos para saber las pérdidas anuales de energía, las tarifas en la barra del transformador.

El capítulo IV, hace la evaluación económica de las pérdidas en el transformador según las tarifas eléctricas, así como la obtención de coeficientes que dependen netamente del servicio en el punto de instalación.

El capítulo V, se hacen cálculos para obtener el costo óptimo del transformador tanto constructivamente como para su utilización y se compara con el transformador existente, se hace uso de un software.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
GENERALIDADES	2
1.1 Objetivo	2
1.2 Ubicación	2
1.3 Características del transformador de potencia	2
1.4 Diagrama de carga diario	3
1.5 Factor de pérdidas	4
1.6 Factor de utilización	5
1.7 Eficiencia de un transformador	6
1.8 Criterios de Optimización	6
CAPÍTULO II	7
PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR	7
2.1 Pérdidas en vacío	7
2.2 Pérdidas en los arrollamientos	11
2.3 Efecto de los armónicos en los transformadores	12
2.4 Factor K	16

2.5	Determinación experimental de las pérdidas de un transformador	19
2.5.1	Prueba en vacío	19
2.5.2	Prueba en cortocircuito	20
CAPÍTULO III		23
CARACTERÍSTICAS DE SERVICIO DEL TRANSFORMADOR		23
3.1	Cálculo de las pérdidas anuales de energía en el transformador	23
3.1.1	Cálculo de pérdidas en el hierro	24
3.1.2	Cálculo de pérdidas en el cobre	25
3.2	Tarifas eléctricas	30
CAPÍTULO IV		32
CAPITALIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS		32
4.1	Capitalización de las pérdidas totales de energía	32
4.2	Capitalización directa de las potencias de pérdidas en el hierro y en el cobre	33
4.3	Costo financiero del transformador	34
CAPÍTULO V		36
COSTO OPTIMO DEL TRANSFORMADOR		36
5.1	Cálculos para obtener el costo óptimo de un transformador	36
5.2	Software de aplicación	39
5.3	Análisis de resultados	39

CONCLUSIONES	41
ANEXOS	42
ANEXO A	43
CÁLCULO DEL FACTOR K	43
ANEXO B	45
CÁLCULO DEL DIAGRAMA MEDIO DE CARGA DIARIO	45
ANEXO C	58
CÁLCULO DEL COSTO OPTIMO DEL TRANSFORMADOR	58
ANEXO D	71
RESULTADOS DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN	71
BIBLIOGRAFÍA	75

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata de optimizar costos en transformadores es necesario diferenciar claramente que característica interesa analizar, ya sea un precio de compra o de venta o el costo de explotación, o en forma conjunta explotación y compra.

El presente trabajo tiene como propósito analizar la optimización de costos en el proceso de diseño y en el proceso de explotación, para lo cual se tiene información de la carga del transformador actualmente en uso y se obtendrá las características básicas del transformador más óptimo. Es importante resaltar que este resultado no constituye una optimización absoluta de los transformadores dentro del sistema eléctrico a la cual pertenece, más bien es un análisis del transformador mismo en forma aislada, la única manera segura de llegar a un óptimo sería analizando el Sistema íntegro, lo que resulta difícil de conseguir. Entonces el análisis parcial podría ser una buena opción de optimización.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Objetivo

El objetivo del presente informe es obtener el costo total de los transformadores, que incluye costo de compra mas costos operativos, y evaluar si el transformador en uso es el óptimo, para lo cual se analizará el caso de un transformador de 17.2 MVA.

1.2 Ubicación

El transformador se encuentra ubicado en la Subestación de Santa Rosa, en el distrito del Agustino, provincia de Lima.

1.3 Características del transformador de potencia

El transformador de potencia es trifásico, baño en aceite, montaje exterior, ventilación natural forzada de aire, y regulación automática bajo carga, presenta las siguientes características:

- Potencia nominal 17.2 MVA
- Tensión Nominal
 - Primario 60 kV
 - Secundario 10 kV
- Relación de transformación 58±13x0.565/10.32 kV

-	Frecuencia	60 Hz
-	Altitud	1 000 m.s.n.m.
-	Vcc	9.3%

Ensayo en vacío:

-	Pérdidas en vacío	15197 W, a $V_n(10320V)$, 60Hz
-	Corriente en vacío	3.2 Amp.

Ensayo en cortocircuito:

-	Pérdidas en cc a 19.5°C	80276 W, $I_n(171.2A)$ alta, 60Hz.
-	Pérdidas en cc a 75°C	93484 W, $I_n(171.2A)$ alta, 60Hz.

Resistencia: (posición central)

-	AT	1.324 Ω /fase a 19.5°C
-	BT	0.0110 Ω //fase a 19.5°C

1.4 Diagrama de carga diario

Cada subestación que proporciona servicio tiene un ciclo de carga variables, pero para propósitos de cálculo debe obtenerse un diagrama de carga diario equivalente.

Un diagrama de carga equivalente puede obtenerse promediando en forma cuadrática cada valor de potencia aparente en un tiempo común Δt , de la siguiente manera:

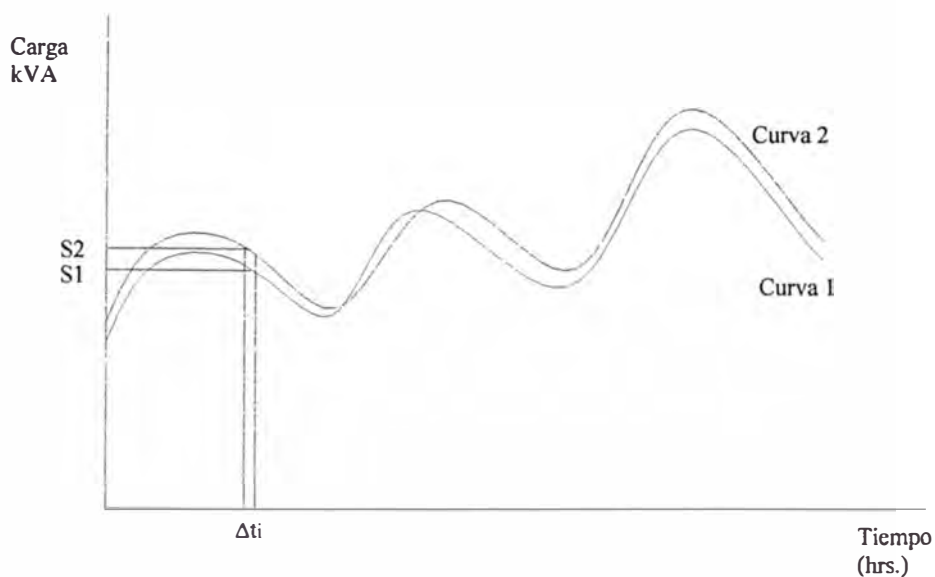


Figura N° 1.1

Para el intervalo Δt_i :

$$S_{i_{equiv}} = \sqrt{\frac{S_{i_1}^2 + S_{i_2}^2 + S_{i_3}^2 + \dots + S_{i_n}^2}{n}} \quad (1.1)$$

Donde:

$S_{i_1}, S_{i_2}, \dots, S_{i_n}$: Cargas instantáneas en el intervalo de Δt_i de la curva 1, curva 2, ..., curva n.

n: Número de curvas a promediar.

1.5 Factor de pérdidas

Se puede calcular de la siguiente manera:

$$f_p = \frac{(1/T) \int_0^T i^2 R dt}{I_{máx}^2 * R} = \frac{1}{T} * \int_0^T \left(\frac{i}{I_{máx}} \right)^2 dt \quad (1.2)$$

Donde:

- f_p : Factor de pérdidas
 T: Período
 i: Corriente instantánea
 $I_{m\acute{a}x}$: Corriente máxima
 R: Resistencia del devanado

Se sabe:

$$\frac{i}{I_{m\acute{a}x}} = \frac{S}{S_{m\acute{a}x}} \quad (1.3)$$

Donde:

- S: Potencia aparente instantánea
 $S_{m\acute{a}x}$: Potencia aparente máxima

El factor de pérdidas se puede obtener también:

$$f_p = \frac{1}{T} * \int_0^T \left(\frac{S}{S_{m\acute{a}x}} \right)^2 dt \quad (1.4)$$

1.6 Factor de utilización

Esta definida por la siguiente fórmula:

$$f_u = \frac{S_{m\acute{a}x}}{S_n} \quad (1.5)$$

1.7 Eficiencia de un transformador

La eficiencia de un transformador esta definida como la relación de la potencia de entrada sobre la potencia de salida

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ entrada}{Potencia\ de\ salida} = \frac{S \cos \phi}{S \cos \phi + pérdidas} \quad (1.6)$$

Donde:

S: Potencia aparente del transformador

$\cos \phi$: factor de potencia

1.8 Criterios de Optimización

La optimización de los transformadores se basa en criterios respecto al aparato en si, no como integrante del sistema que conforma, porque sería demasiado complicado. Bajo esa consideración se puede enfocar de dos formas:

- Mínimo precio de adquisición o de factura (precio de costo para el cliente y precio de venta para el fabricante).
- Mínimo costo financiero, entendiéndose por esto como el costo que resulta tanto del precio de factura como del costo de explotación que incluirá solo el valor de las pérdidas de energía, admitiendo que la instalación y conservación son independientes de la calidad económica del transformador.

CAPÍTULO II

PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

Cuando entra en funcionamiento el transformador da origen a dos clases de pérdidas que comúnmente se les conoce con el nombre de pérdidas en vacío y pérdidas en los arrollamientos.

2.1 Pérdidas en vacío

Las pérdidas en vacío ocurre en el núcleo del transformador cuando es aplicado un voltaje al transformador independientemente de la carga. Estas pérdidas son constantes y ocurre incluso cuando el secundario del transformador esta en circuito abierto. Estas pérdidas en vacío pueden ser: pérdidas por histéresis en las laminas del núcleo, pérdidas por corriente de eddy en las láminas del núcleo, pérdidas I^2R debido a las corrientes sin carga, otras pérdidas por corriente de eddy en los pasadores de fijación del núcleo y otros componentes del núcleo; y pérdidas en los dieléctricos. Las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes de eddy, contribuyen con el 99% de las pérdidas en vacío, las demás pérdidas son pequeñas, por lo que a menudo se desprecian.

Pérdidas por Histéresis

Las pérdidas por histéresis son pérdidas en la laminación del núcleo, causadas por la resistencia de las moléculas a la magnetización y desmagnetización por el campo magnético alterna. Esta resistencia de las moléculas causa fricción que resulta en calentamientos.

La pérdida por histéresis puede entenderse examinando la Figura 2.1, el cual ilustra el efecto de la alternancia del campo magnético aplicado al núcleo de hierro del transformador. Cada molécula de hierro se vuelve un imán diminuto cuando un campo magnético es aplicado en él. Cuando la alternancia del campo retorna a cero, las moléculas retienen algo de magnetismo residual. Este magnetismo residual resiste la reordenación de las moléculas cuando el campo magnético retorna a su máximo valor. La resistencia de las moléculas a ser remagnetizadas causa fricción y calentamiento. Esta fricción y calentamiento son referidas como pérdidas por histéresis, ellos representan del 50 al 80 por ciento del total de las pérdidas en el núcleo en vacío.

La reducción de las pérdidas de histéresis es logrado cambiando la cantidad o tipo de hierro. Incrementando la cantidad de hierro resulta en una reducción de la cresta del flujo que opera y pérdidas por histéresis. Esto también causa un incremento en costo de producción del transformador, peso y volumen. Núcleo de acero de silicio también reduce la cantidad de las pérdidas por histéresis por reducción de la resistencia de las moléculas a ser remagnetizadas. Núcleo de acero amorfo resulta en una configuración al

azar de las moléculas, eso causa una significativa reducción en las pérdidas por histéresis.

Para determinar las pérdidas por histéresis en materiales ferromagnéticos se mide con un planímetro el área encerrada por la curva de histéresis. Steinmetz determinó una formula empírica para obtener las pérdidas por histéresis, que viene dada por la siguiente expresión:

$$Pérd_h = \eta \cdot Vol \cdot f \cdot B_{\max}^n \quad (2.1)$$

Donde:

- $Pérd_h$: Pérdidas por histéresis en Watts
- η : Coeficiente de Steinmetz, que depende del material y del sistema de unidades utilizados.
- n : Exponente de Steinmetz
- f : Frecuencia de magnetización en Hz
- Vol : Volumen del núcleo en m^3 .
- B_{\max} : Densidad de flujo máximo en Wb/m^2 .

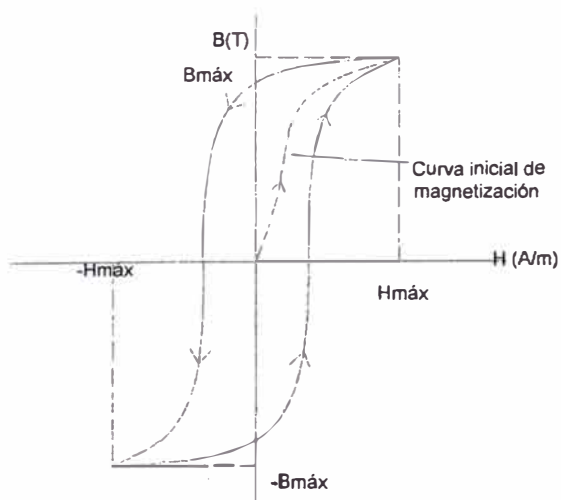


Figura N° 2.1 Ciclo de histéresis

Como se puede observar en la fórmula anterior para poder reducir estas pérdidas va depender mucho de la calidad del material ferromagnético.

Pérdidas por corrientes de eddy

Las pérdidas por corrientes de eddy, son pérdidas causadas por la corriente inducida en el hierro por la alternancia del campo magnético. Como el flujo magnético cambia con la alternancia de la corriente en la bobina, una corriente es inducida en el hierro eso fluye en ángulo recto al flujo magnético. La corriente de eddy fluye en el núcleo de hierro causando pérdidas que produce incremento de calor. Las pérdidas por corrientes de eddy contribuye en un 20 a 50 por ciento del total de las pérdidas en vacío.

La construcción del núcleo de delgadas laminas aisladas del uno al otro con un barniz hecho de una capa delgada de óxido aislante reduce las pérdidas por corrientes de eddy. Las delgadas laminas reduce la magnitud de las corrientes de eddy , mientras que el aislamiento de cada lámina corta el flujo de las corrientes de eddy en el núcleo. El aislamiento de las laminas del núcleo resulta en una mayor eficiencia del transformador pero incrementa el costo de construcción del transformador, peso y volumen.

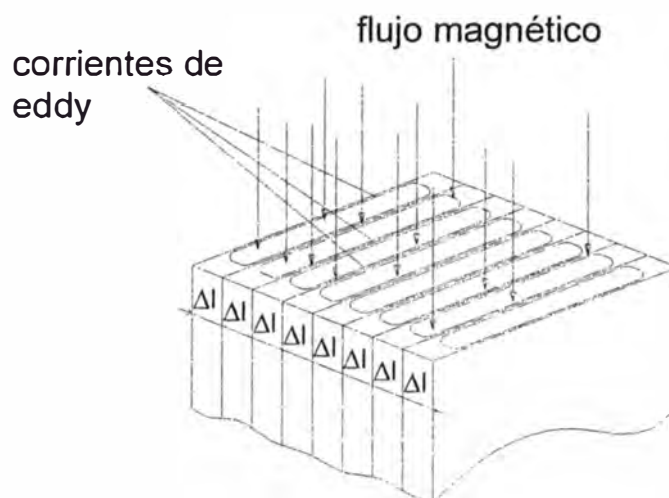


Figura N° 2.2 Corrientes de eddy en el núcleo

2.2 Pérdidas en los arrollamientos

Las pérdidas en los arrollamientos o bajo carga, varía de acuerdo a la carga en el transformador. Estas pérdidas consisten en las pérdidas por calentamiento del conductor causadas por la corriente de carga y las corrientes de eddy en el conductor. Estas pérdidas se incrementan según se incrementa la temperatura. Esto es porque la resistencia en el conductor se incrementa debido al incremento de temperatura. Es a menudo difícil de determinar estas pérdidas porque es difícil el conocimiento de la carga.

Pérdidas I^2R o pérdidas en el cobre

Las pérdidas I^2R , son a menudo llamadas pérdidas en el cobre o en el arrollamiento, porque ellos ocurren en los bobinados del transformador. Ellos ocurren tanto en el bobinado primario como en el secundario del transformador. Ellos son causados por la resistencia del conductor de cobre al paso del flujo de la corriente o electrones en el conductor. Estas pérdidas

son causadas por los electrones en movimiento en el conductor. El movimiento de los electrones produce fricción y calentamiento.

Esta pérdida es significativa y es igual o más grande que la pérdida sin carga. Para reducir estas pérdidas se podría reducir la resistencia incrementando el área transversal del conductor, el cual significaría mayor costo en el transformador. Otra opción es de utilizar un conductor que presente menor resistencia al paso de la corriente eléctrica. El cobre ha sido utilizado por ser el mejor conductor en términos de peso, tamaño, costo, y resistencia .

Pérdidas por corriente de eddy en el conductor

Las corrientes de eddy en el conductor se forman de igual forma como en el núcleo del transformador. Ellos son debido al campo magnético que fluye perpendicularmente al conductor, causando las corrientes de eddy que fluyen en el conductor mismo.

Las pérdidas por corrientes de eddy pueden ser reducidos por transposición de conductores. Este reduce el voltaje por el conductor que causa la corriente de eddy para fluir en el conductor.

2.3 Efecto de los armónicos en los transformadores

El mayor efecto de los armónicos es incrementar las pérdidas y calentamiento. Ellos incrementan ambas pérdidas en vacío y debido a la carga. Ellos incrementan las pérdidas debido a la carga causando el efecto skin, incrementando la corriente de eddy, y pérdidas adicionales. Ellos

incrementan a las pérdidas en vacío incrementando las pérdidas por histéresis.

- **Pérdida debido a la carga.**

Las pérdidas debido a la carga incluyen I^2R , corrientes de eddy en los arrollamientos y pérdidas adicionales. Se presenta las siguientes fórmulas:

$$P_{LL} = I^2R + P_{EC} + P_{OSL} \quad (2.2)$$

Donde:

P_{LL} : Total de pérdidas con carga

I^2R : Corriente al cuadrado por la resistencia del conductor

P_{EC} : Pérdidas por corriente de eddy en los arrollamientos.

P_{OSL} : Otras pérdidas adicionales en los pasadores de fijación del núcleo, núcleo, y elementos de la estructura.

Examinado cada componente del total de pérdidas debido a la carga en la fórmula, nos ayuda a explicar como afecta los armónicos en el total de las pérdidas.

Los armónicos incrementan las pérdidas de I^2R incrementando el total de corriente I . Esto es así porque la corriente armónica se agrega a la corriente fundamental de 60 Hz. El valor rms de la corriente de la carga puede ser determinado de la siguiente manera:

$$I = \left[\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} (I_h)^2 \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

Donde:

- I : Valor rms de la corriente de la carga
- h : orden del armónico (1,2,3,4, etc)
- I_h : rms de la corriente de carga al armónico de orden h.

Los armónicos incrementan las pérdidas por corriente de eddy. Las pérdidas por corriente de eddy son proporcionales al cuadrado de la corriente de la carga y al cuadrado de la frecuencia del armónico. Estas pérdidas pueden causar excesiva pérdidas en los arrollamientos y calentamientos si están presentes significantes corrientes armónicas de la carga.

La siguiente fórmula relaciona las pérdidas por corrientes de eddy y los armónicos:

$$P_{EC} = P_{EC-R} \left[\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} (I_h h)^2 \right] \quad (2.4)$$

Donde:

- P_{EC} : Pérdidas por corriente de eddy debido a algunos armónicos definidos de la corriente de carga
- P_{EC-R} : Pérdidas por corriente de eddy bajo condiciones nominales
- h : orden del armónico (1,2,3,4, etc)
- I_h : rms de la corriente de carga al armónico de orden h.

Los armónicos también afectan a las otras pérdidas adicionales como en el núcleo, pasadores de fijación del núcleo, partes de la estructura, pero son pequeños y pueden despreciarse.

Entonces el total de las pérdidas bajo carga en por unidad se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + P_{EC-R} \left[\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} (I_h h)^2 \right] \quad (2.5)$$

Donde :

P_{EC-R} : Factor de pérdidas por corriente de eddy bajo condiciones nominales

h : orden del armónico (1,2,3,4, etc)

I_h : rms de la corriente de carga al armónico de orden h.

- **Pérdidas en vacío**

Los armónicos afectan a las pérdidas en vacío incrementando las pérdidas por histéresis. Ellos causan esto debido al incremento de la densidad de flujo y la proporción del ciclo de la magnetización y desmagnetización del núcleo y son directamente proporcionales a la frecuencia de aplicación del voltaje. El incremento de la densidad de flujo, incrementa la resistencia a la magnetización y las pérdidas por histéresis. El incremento en la proporción del ciclo de magnetización del núcleo, causa un mayor requerimiento de energía para que se magnetice el núcleo y también incrementa las pérdidas por histéresis

2.4 Factor K

El factor K fue introducido como una solución al problema de los armónicos en transformadores, Los armónicos en transformadores causan incremento de pérdidas y calentamientos que deterioran los aislamientos y puede causar eventuales desperfectos en el transformador. Con el uso extensivo de dispositivos no lineales, los armónicos se han incrementado notablemente. Estos armónicos pueden ser eliminados por el uso de filtros o cargados por transformadores especialmente diseñados con factor K.

El valor del factor K puede ser usado para escoger un transformador diseñado especialmente con factor K o tasar a un transformador sin factor K. El transformador con factor K es diseñado para sostener la pérdida adicional y calentamientos causados por los armónicos. Se ha restringido el uso de transformadores sin factor K, para las cargas con menos del 5% de contenido armónico. Los transformadores con factor K pueden ser de categorías 1, 4, 9, 13, 20, 30, 40 y 50.

El Factor K es una constante desarrollado para tomar en cuenta el efecto de los armónicos en el transformador con carga y las pérdidas.

El propósito de la clasificación del factor K es ordenar los transformadores según los armónicos, para reducir las pérdidas por efecto skin y reducir la posibilidad de la saturación del núcleo. Los transformadores clasificados con el factor K tienen una nota en sus placas indicando que ellos son diseñados para corrientes no sinusoidales con un cierto factor K. El factor K está representado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\sum h^2 (I_h / I_1)^2}{\sum (I_h / I_1)^2} \quad (2.6)$$

Donde :

I_h/I_1 : Distorsión armónica individual de corriente

h : orden del armónico

Los pasos para determinar la clasificación del transformador son las siguientes:

a) En este paso , es necesario determinar el orden de los armónicos y correspondientemente el porcentaje del contenido de armónicos del total de la corriente de carga. Este puede ser determinado de la actual medida de armónicos o por el uso de varias formas de onda de cargas armónicas.

b) Cálculo del factor K usando la fórmula anterior.

c) Determinar el factor de las pérdidas por corriente de eddy del transformador. Este factor es una medida del transformador. Puede ser obtenida del diseño del transformador, de los datos de prueba del transformador. La Tabla N° 2.1 contiene valores típicos del factor de las pérdidas por corriente de eddy.

Tipo	kVA	Voltaje	$P_{EC-R}(\%)$
Seco	≤ 1000	480 V	3-8%
	≥ 1500	5 kV	12-20%
	≥ 1500	15 kV	9-15%
Con Aceite	≤ 1000	480 V	1%
	2500-5000	No especificado	1-5%
	> 5000	No especificado	9-15%

Tabla N° 2.1

d) Determinar la clasificación del transformador calculando la máxima corriente usando el factor de pérdida por corriente de eddy y el factor K . Se aplica la siguiente fórmula:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC-R}}{1 + K * P_{EC-R}}} \quad (2.7)$$

Donde:

I_{\max} : Corriente máxima o corriente de carga reducida en pu.

P_{EC-R} : Factor de pérdida de la corriente de eddy

K: Factor del transformador.

El cálculo del Factor K para el transformador de 17.2 MVA se muestra en el anexo A, donde se obtiene un Factor K igual a 1.008, y una corriente máxima de 0.9995 pu. o el 99.95% de la nominal, que indica que para la aplicación, el transformador estándar usado, es el mas conveniente según la carga de armónicos de la red.

Un transformador de K-factor es un transformador especialmente diseñado que tiene ciertos rasgos que le permiten manejar el calentado extra de corrientes armónicas. Puede tener un escudo estático entre los bobinados de alto y bajo-voltaje para reducir el ruido electrostático causado por los armónicos. También puede tener un conductor neutro más grande en el bobinado secundario para ocuparse de la tercera armónica en la corriente del neutro. La laminación del núcleo puede ser individualmente aislado para reducir las corrientes de eddy en el núcleo. Un núcleo grande con acero especial puede ser requerido para reducir las pérdidas de histéresis y reducir

la posibilidad que el transformador se sature debido al alto pico de las ondas del voltaje distorsionado. El acero especial tiene menos resistencia y así reduce la densidad de flujo y resistencia al campo magnético cambiante. Otra manera de reducir la densidad de flujo es incrementando el número de vueltas en el devanado. El calentamiento debido al incremento de pérdidas I^2R , es reducido por el uso de conductores más grandes para reducir la resistencia del conductor. A menudo, se agregan los conductos refrescantes a los bobinados para reducir los efectos caloríficos aumentados por los armónicos. Las pérdidas por corriente de eddy son reducidas.

Un transformador con factor K cuesta más que un transformador normal y puede pesar 15 a 25 por ciento más de un transformador normal, y ocupar 30 a 40 por ciento más de espacio.

2.5 Determinación experimental de las pérdidas de un transformador

Las pruebas a realizar sin carga real son: la prueba en vacío y la prueba en cortocircuito

2.5.1 Prueba en vacío

El montaje se muestra en la Figura N° 2.3. Se aplica a uno de los devanados tensiones comprendidas entre el 90% y el 110% de la tensión nominal y se anota la tensión, potencia y corriente. Debe hacerse por lo menos tres juegos de medidas. En caso que el transformador tenga taps, debe conectarse en la toma normal.

Con las lecturas obtenidas se traza una curva de tensión versus potencia, de la cual se puede obtenerse la potencia correspondiente a la tensión nominal. De igual manera se traza la curva tensión versus corriente.

La potencia que corresponde a la tensión nominal, nos representa las pérdidas nominales en el hierro del transformador, debido a que las pérdidas en el cobre son despreciables, debido a que la corriente no debe exceder del 5% de la corriente nominal del devanado.

La corriente que corresponde a la tensión nominal se denomina corriente nominal de excitación del transformador.

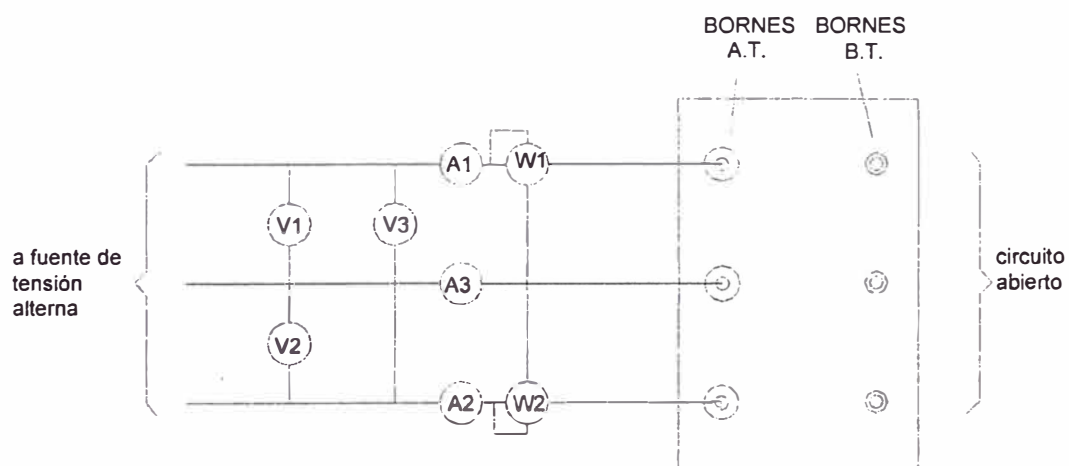


Figura N° 2.3 Prueba de circuito abierto

Las pérdidas en vacío registradas en el transformador de 17.2 MVA al 100% de la tensión nominal y a 60 Hz es de 15.197 Kw

2.5.2 Prueba en cortocircuito

El montaje se muestra en la Figura N° 2.4 Esta prueba se realiza poniendo en cortocircuito un lado del transformador, y alimentando el otro lado con una tensión inferior a la nominal, se hace variar la corriente que

circula en el primario entre el 25% y 100% de la corriente nominal, debe efectuarse al menos tres medidas de corriente de potencia y de tensión. En caso que el transformador tenga taps, debe conectarse en la toma normal.

Se debe tener en cuenta que al momento de iniciarse la prueba la diferencia de temperaturas del cobre y del medio ambiente sea despreciable, debe anotarse el valor de la temperatura ambiental.

Con las lecturas obtenidas se traza una curva de potencia versus corriente y otra curva de tensión versus corriente.

La potencia correspondiente a la corriente nominal será las pérdidas en los arrollamientos del transformador a la temperatura de prueba, en este caso las pérdidas en el hierro serán despreciables debido a que la tensión es del orden del 5%, por lo tanto el flujo magnético es pequeño.

La tensión que corresponde a la corriente nominal se denomina tensión de cortocircuito del transformador correspondiente a la temperatura de la prueba.

Estos valores obtenidos de pérdidas en los arrollamientos y tensión de cortocircuito deben corregirse para una temperatura del devanado de 75°C.

Las pérdidas en los arrollamientos registradas en el transformador de 17.2 MVA en la prueba de corto circuito a 75° C y a corriente nominal (en toma central) es de 93.484 kW.

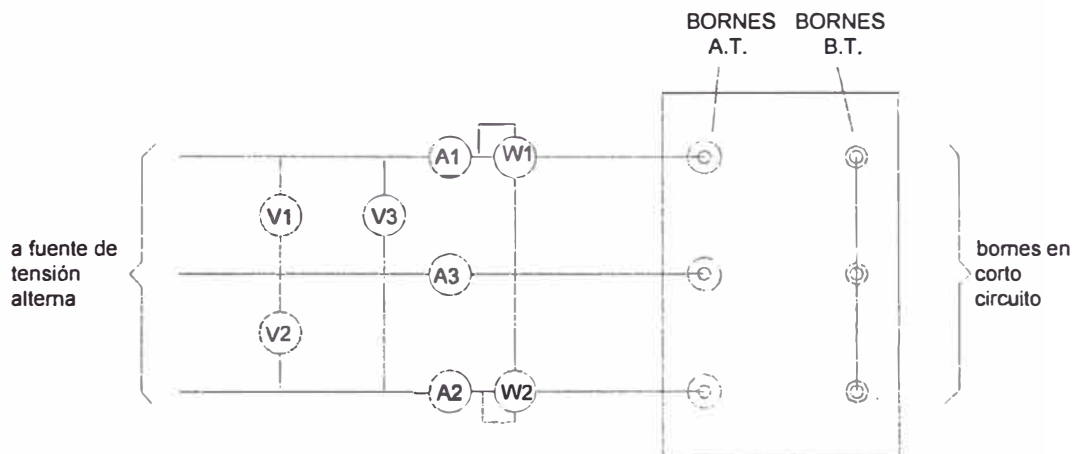


Figura N° 2.4 Prueba de corto circuito

CAPÍTULO III

CARACTERISTICAS DE SERVICIO DEL TRANSFORMADOR

En esta parte obtendremos las pérdidas anuales en el transformador, debido a las pérdidas en el hierro y pérdidas en el cobre, así como las tarifas en la barra del transformador.

3.1 Cálculo de las pérdidas anuales de energía en el transformador

Si se pudiera representar gráficamente la potencia de pérdida instantánea en función del tiempo durante todo el año, las pérdidas anuales de energía en el transformador se calcularía de la siguiente manera:

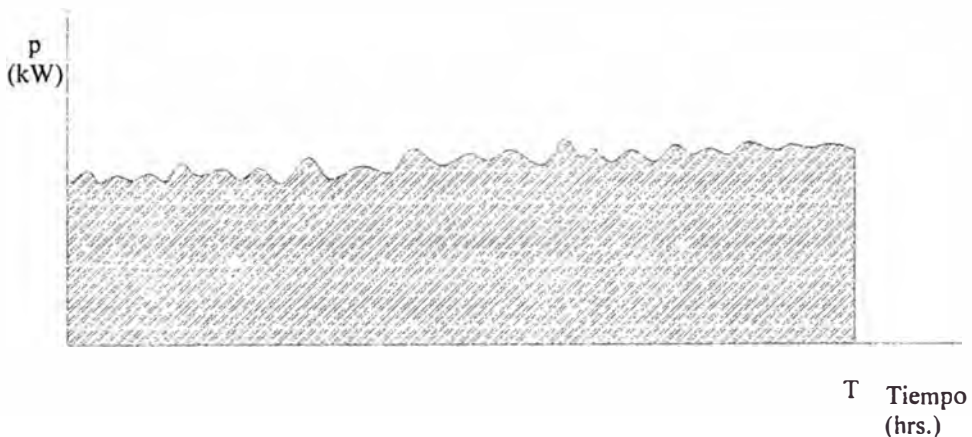


Figura N° 3.1

$$Pérd_{Total} = \int_0^T p dt \quad (3.1)$$

Donde:

$Pérd_{Total}$: Pérdida total al año

p: Potencia instantánea de pérdida

t: Tiempo

T: Cantidad de horas al año (8760)

El trazado de esta curva sería bastante laborioso. Los instrumentos registradores no pueden medir directamente las pérdidas de potencia. Si tuviéramos un contador en el lado primario y otro contador en el lado secundario, la diferencia entre sus indicaciones anuales nos daría directamente las pérdidas anuales del transformador.

Para nuestros propósito separaremos la pérdida total en la suma de la pérdida en el hierro y pérdida en el cobre:

$$Pérd_{Total} = Pérd_{Fe} + Pérd_{Cu} \quad (3.2)$$

3.1.1 Cálculo de pérdidas en el hierro

Las pérdidas en el hierro no varían con la carga, así que para obtener las pérdidas anuales de energía en el hierro se procede de la siguiente manera:

$$Pérd_{Fe} = Pot_{Fe} * T_{Fe} \quad (3.3)$$

Donde:

$Pérd_{Fe}$: Pérdidas anuales de energía en el hierro en kW-h.

Pot_{Fe} : Potencia de pérdidas en el hierro nominal en kW.

T_{Fe} : Tiempo que el transformador permanece anualmente en servicio en horas.

Para poder evaluar el costo de pérdidas anuales de energía en el hierro del transformador es necesario desglosar las pérdidas diferenciando en pérdidas en horas punta y pérdidas en horas fuera punta, debido a que el costo por kW-h es distinto.

Para el transformador de 17.2 MVA, se obtiene.

	HP	HFP	TOTAL
T_{Fe} (hr)	1825	6935	8760.00
Pot_{Fe} (kW)	15.197	15.197	
$Pérd_{Fe}$ (kW-h)	27734.53	105391.20	133125.72

Tabla N° 3.1

3.1.2 Cálculo de pérdidas en el cobre

Las pérdidas en el cobre son variables con la carga por lo que dificulta su evaluación.

Partiremos de la siguiente relación:

$$\frac{Pot_{Cu}}{Pot_{Cu(n)}} = \frac{i^2 R}{i_n^2 R} = \left(\frac{i}{i_n}\right)^2 = \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \quad (3.4)$$

$$Pot_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \quad (3.5)$$

Las pérdidas anuales de energía en el cobre se obtendrá de la siguiente manera:

$$Pérd_{Cu} = \int_0^T Pot_{Cu} dt \quad (3.6)$$

De donde se obtiene:

$$Pérd_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * \int_0^T \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 dt \quad (3.7)$$

Donde:

$Pérd_{Cu}$: Pérdidas anuales de energía en el cobre en kW-h.

$Pot_{Cu(n)}$: Potencia de pérdidas en el cobre nominal en kW.

S : Potencia instantánea del transformador en kVA.

S_n : Potencia nominal del transformador en kVA.

t : tiempo en horas

T : Cantidad de horas al año (8760)

Para el cálculo se elabora un diagrama medio de carga diaria, La obtención de este diagrama se muestra en el anexo B.

Entonces las pérdidas anuales de energía en el cobre se obtendrá de la siguiente manera:

$$Pérd_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * \frac{H}{24} * \int_0^{24} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 dt \quad (3.8)$$

Donde:

$Pérd_{Cu}$: Pérdidas anuales de energía en el cobre en kW-h.

Pot_{Cu} : Potencia de pérdidas en el cobre nominal en kW.

S	:	Potencia instantánea del transformador en kVA.
S _n	:	Potencia nominal del transformador en kVA.
H	:	Horas de uso al año del transformador (8760)

Ordenando convenientemente:

$$Pérd_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * H * \left(\frac{1}{24} * \int_0^{24} \left(\frac{S}{S_{máx}} \right)^2 dt \right) * \left(\frac{S_{máx}}{S_n} \right)^2$$

Reemplazando:

$$Pérd_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * H * f_p * f_u^2 \quad (3.9)$$

Reemplazando por un tiempo equivalente T'_{Cu} :

$$T'_{Cu} = H * f_p * f_u^2 \quad (3.10)$$

$$Pérd_{Cu} = Pot_{Cu(n)} * T'_{Cu} \quad (3.11)$$

Donde:

T'_{Cu} : Tiempo equivalente anual en horas.

Para evaluar el factor de pérdidas podemos reemplazar la integral por una sumatoria con particiones de 1/4 de hora de la siguiente manera:

$$f_p = \frac{1}{24} * \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_i}{S_{máx}} \right)^2 \Delta t_i \quad (3.12)$$

Donde:

m : Es el número de intervalos de la partición, para nuestro caso $24*4 = 96$

Δt_i : Duración del intervalo, para nuestro caso es 1/4 hora

S_i : Potencia del transformador en cada intervalo en kVA.

Para poder evaluar el costo de pérdidas anuales de energía del transformador es necesario disgregar las pérdidas diferenciando en pérdidas en horas punta y pérdidas en horas fuera punta, debido a que el costo por kW-h es distinto. Para lo cual definiremos lo siguiente:

$$fp_{HP} = \frac{1}{24} * \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_{iHP}}{S_{m\acute{a}x}} \right)^2 \Delta t_i \quad (3.13)$$

$$fp_{HFP} = \frac{1}{24} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{iHFP}}{S_{m\acute{a}x}} \right)^2 \Delta t_i \quad (3.14)$$

Donde se cumple:

$$fp = fp_{HP} + fp_{HFP} \quad (3.15)$$

Evaluando para el transformador de 17.2 MVA se obtiene:

Tiempo	S(kVA)	S/Smáx	Δt (hr)	$(S/Smáx)^2 \cdot \Delta t$	Tiempo	S(kVA)	S/Smáx	Δt (hr)	$(S/Smáx)^2 \cdot \Delta t$
00:15	10144	0.79	0.25	0.15	12:15	10619	0.82	0.25	0.17
00:30	9858	0.76	0.25	0.15	12:30	10450	0.81	0.25	0.16
00:45	9595	0.74	0.25	0.14	12:45	10142	0.79	0.25	0.15
01:00	9392	0.73	0.25	0.13	13:00	10166	0.79	0.25	0.16
01:15	9139	0.71	0.25	0.13	13:15	10104	0.78	0.25	0.15
01:30	8825	0.68	0.25	0.12	13:30	10089	0.78	0.25	0.15
01:45	8618	0.67	0.25	0.11	13:45	10080	0.78	0.25	0.15
02:00	8469	0.66	0.25	0.11	14:00	10182	0.79	0.25	0.16
02:15	8339	0.65	0.25	0.10	14:15	10349	0.80	0.25	0.16
02:30	8225	0.64	0.25	0.10	14:30	10489	0.81	0.25	0.17
02:45	8165	0.63	0.25	0.10	14:45	10571	0.82	0.25	0.17
03:00	8110	0.63	0.25	0.10	15:00	10552	0.82	0.25	0.17
03:15	7924	0.61	0.25	0.09	15:15	10493	0.81	0.25	0.17
03:30	7895	0.61	0.25	0.09	15:30	10518	0.82	0.25	0.17
03:45	7854	0.61	0.25	0.09	15:45	10444	0.81	0.25	0.16
04:00	7890	0.61	0.25	0.09	16:00	10439	0.81	0.25	0.16
04:15	7905	0.61	0.25	0.09	16:15	10447	0.81	0.25	0.16
04:30	7902	0.61	0.25	0.09	16:30	10450	0.81	0.25	0.16
04:45	7905	0.61	0.25	0.09	16:45	10370	0.80	0.25	0.16
05:00	7898	0.61	0.25	0.09	17:00	10401	0.81	0.25	0.16
05:15	7990	0.62	0.25	0.10	17:15	10318	0.80	0.25	0.16
05:30	8066	0.63	0.25	0.10	17:30	10297	0.80	0.25	0.16
05:45	8051	0.62	0.25	0.10	17:45	10368	0.80	0.25	0.16
06:00	8078	0.63	0.25	0.10	18:00	10500	0.81	0.25	0.17
06:15	8150	0.63	0.25	0.10	18:15	10709	0.83	0.25	0.17
06:30	8276	0.64	0.25	0.10	18:30	10972	0.85	0.25	0.18
06:45	8432	0.65	0.25	0.11	18:45	11458	0.89	0.25	0.20
07:00	8475	0.66	0.25	0.11	19:00	11979	0.93	0.25	0.22
07:15	8773	0.68	0.25	0.12	19:15	12220	0.95	0.25	0.22
07:30	9280	0.72	0.25	0.13	19:30	12364	0.96	0.25	0.23
07:45	9539	0.74	0.25	0.14	19:45	12505	0.97	0.25	0.23
08:00	9859	0.76	0.25	0.15	20:00	12554	0.97	0.25	0.24
08:15	9772	0.76	0.25	0.14	20:15	12601	0.98	0.25	0.24
08:30	10151	0.79	0.25	0.15	20:30	12655	0.98	0.25	0.24
08:45	10267	0.80	0.25	0.16	20:45	12773	0.99	0.25	0.25
09:00	10354	0.80	0.25	0.16	21:00	12899	1.00	0.25	0.25
09:15	10370	0.80	0.25	0.16	21:15	12871	1.00	0.25	0.25
09:30	10480	0.81	0.25	0.17	21:30	12769	0.99	0.25	0.24
09:45	10618	0.82	0.25	0.17	21:45	12674	0.98	0.25	0.24
10:00	10663	0.83	0.25	0.17	22:00	12440	0.96	0.25	0.23
10:15	10654	0.83	0.25	0.17	22:15	12203	0.95	0.25	0.22
10:30	10684	0.83	0.25	0.17	22:30	11915	0.92	0.25	0.21
10:45	10666	0.83	0.25	0.17	22:45	11547	0.90	0.25	0.20
11:00	10744	0.83	0.25	0.17	23:00	11266	0.87	0.25	0.19
11:15	10799	0.84	0.25	0.18	23:15	11392	0.88	0.25	0.19
11:30	10823	0.84	0.25	0.18	23:30	11070	0.86	0.25	0.18
11:45	10853	0.84	0.25	0.18	23:45	10753	0.83	0.25	0.17
12:00	10818	0.84	0.25	0.18	24:00	10426	0.81	0.25	0.16
<i>Smáx</i>									12899
<i>f_p</i>									0.636
<i>f_{p HP}</i>									0.186
<i>f_{p HFP}</i>									0.450
<i>f_U</i>									0.750

Tabla N° 3.2

De donde se obtiene:

	HP	HFP	TOTAL
T'_{Cu} (hr)	915.99	2215.24	3131.23
Pot_{Cu} (kW)	93.484	93.484	
$Pérd_{Cu}$ (kW-h)	85630.82	207089.19	292720.01

Tabla N° 3.3

La pérdida total anual en el transformador estará dada por:

$$Pérd_{total} = Pérd_{Fe} + Pérd_{Cu} \quad (3.16)$$

Entonces la energía pérdida por el transformador de 17.2 MVA durante un año será:

	HP	HFP	TOTAL	incidencia(%)
$Pérd_{Fe}$ (kW-h)	27734.53	105391.20	133125.72	31.26
$Pérd_{Cu}$ (kW-h)	85630.82	207089.19	292720.01	68.74
$Pérd_{Totales}$ (kW-h)	113365.35	312480.38	425845.73	100.00

Tabla N° 3.4

3.2 Tarifas eléctricas

Para la evaluación económica de las pérdidas en los transformadores se tiene que aplicar el precio unitario de energía en el punto de instalación del transformador, para ello es necesario tomar de referencia las tarifas vigentes en la barra de 60 kV. La tarifa distingue dos precios dependiendo si la energía es consumida en horas punta (de las 18 horas hasta las 23 horas) o en horas fuera punta. El día 3 de cada mes se evalúa el reajuste del precio debido a variaciones en el precio del Diessel, tipo de cambio, tasa arancelaria, etc.

Para nuestra evaluación tomaremos el precio promedio en Horas Punta y precio promedio en Horas Fuera Punta.

MES	AÑO	BARRA 60 kV			
		Hasta el 3		Desde el 4	
		HP	HFP	HP	HFP
ENERO	2000	16.29	8.63	16.29	8.63
FEBRERO	2000	16.29	8.63	17.34	9.18
MARZO	2000	17.34	9.18	17.34	9.18
ABRIL	2000	17.34	9.18	17.34	9.18
MAYO	2000	13.67	8.44	13.67	8.44
JUNIO	2000	13.67	8.44	13.67	8.44
JULIO	2000	13.67	8.44	13.67	8.44
AGOSTO	2000	13.67	8.44	15.14	9.35
SEPTIEMBRE	2000	15.14	9.35	15.14	9.35
OCTUBRE	2000	15.14	9.35	15.14	9.35
NOVIEMBRE	2000	14.41	8.74	14.98	9.08
DICIEMBRE	2000	14.98	9.08	14.98	9.08
PRECIO PROMEDIO HP (ctv S./kW-h)		15.26			
PRECIO PROMEDIO HFP (ctv S./kW-h)		8.90			

Tabla N° 3.5

CAPÍTULO IV

CAPITALIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS

La evaluación de las pérdidas anuales de energía en el transformador se deben capitalizar en nuevos soles, debemos determinar el valor presente que representa la anualidad de gasto por dichas pérdidas, evaluada durante el periodo de vida o amortización del transformador analizado.

4.1 Capitalización de las pérdidas totales de energía

Si se conoce las pérdidas totales anuales del transformador en kWh y el precio de la energía en el punto donde se ubica el transformador, entonces la anualidad en Nuevos Soles será:

$$A = Pérd_{TotalHP} * C_{HP} + Pérd_{TotalHFP} * C_{HFP} \quad (4.1)$$

Donde:

- A : Anualidad en Nuevos Soles
- $Pérd_{TotalHP}$: Pérdida total en Horas Punta en kW-h.
- $Pérd_{TotalHFP}$: Pérdida total en Horas Fuera Punta en kW-h.
- C_{HP} : Precio de la energía en Horas Punta en S./ kW-h.
- C_{HFP} : Precio de la energía en Horas Fuera Punta en S./ kW-h.

La capitalización C se obtiene multiplicando el factor de capitalización F_c por la anualidad A .

$$C = F_c \times A \quad (4.2)$$

Donde :

$$F_c = \frac{100}{i} \times \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^t} \right] \quad (4.3)$$

i : interés (%)

t : Años de período de vida o de amortización del transformador

Evaluando se obtiene:

Pérd _{TotalHP} (kW-h)	113365.35
Pérd _{TotalHFP} (kW-h)	312480.38
C_{HP} (S./kW-h)	0.15
C_{HFP} (S./kW-h)	0.09
A (S./kW-h)	45113.61
t (años)	20
i (%)	10
F_c	8.51
C (S.)	384077.62

Tabla N° 4.1

4.2 Capitalización directa de las potencias de pérdidas en el hierro y en el cobre

$$Pérd_{Total} = Pot_{Fe} T_{Fe} + Pot_{Cu(n)} T_{Cu} \quad (4.4)$$

$$Pérd_{Total} = Pot_{Fe} (T_{FeHP} + T_{FeHFP}) + Pot_{Cu(n)} (T'_{CuHP} + T_{CuHFP}) \quad (4.5)$$

$$A = Pot_{Fe} (C_{HP} T_{FeHP} + C_{HFP} T_{FeHFP}) + Pot_{Cu(n)} (C_{HP} T'_{CuHP} + C_{HFP} T_{CuHFP}) \quad (4.6)$$

$$C = Pot_{Fe} Fc(C_{HP} T_{FeHP} + C_{HFP} T_{FeHFP}) + Pot_{Cu(n)} Fc(C_{HP} T_{CuHP} + C_{HFP} T_{CuHFP}) \quad (4.7)$$

Haciendo:

$$K_{Fe} = Fc(C_{HP} T_{FeHP} + C_{HFP} T_{FeHFP}) \quad (4.8)$$

$$K_{Cu} = Fc(C_{HP} T_{CuHP} + C_{HFP} T_{CuHFP}) \quad (4.9)$$

Se obtiene:

$$C = Pot_{Fe} K_{Fe} + Pot_{Cu(n)} K_{Cu} \quad (4.10)$$

Evaluando se obtiene:

K_{Fe} (S./kW)	7626.14	K_{Fe} (US\$/kW)	2216.90
K_{Cu} (S./kW)	2868.76	K_{Cu} (US\$/kW)	833.94
C (S.)	384077.62	C (US\$)	111650.47

*Tipo de cambio (S./US\$): 3.44 Abr. 2002

Tabla N° 4.2

La fórmula para el punto de instalación del transformador será:

$$C(S/.) = 7626.14 Pot_{Fe} + 2868.76 Pot_{Cu(n)} \quad (4.11-A)$$

$$C(US\$) = 2216.90 Pot_{Fe} + 833.94 Pot_{Cu(n)} \quad (4.11-B)$$

4.3 Costo financiero del transformador

Cuando se trata de transformadores de mediana o altas potencias resulta más ventajoso hacer un estudio especial desde el punto de vista económico, porque en los transformadores de distribución predominan criterios de las producciones en serie.

El transformador más barato de adquisición no suele ser el más económico, considerando que la energía disipada en pérdidas se convierte en gasto continuo durante toda la vida útil del transformador.

La selección del transformador mas conveniente desde el punto de vista económico, bajo servicios de carga conocido o proyectado, pasa por un análisis económico de costo inicial del transformador mas los costos en pérdidas de energía durante la vida útil del transformador.

$$C_{total} = C_o + C \quad (4.12)$$

Donde:

- C_{total} : Costo financiero del transformador
 : Costo de compra del transformador
 C : Capitalización de la anualidad de las pérdidas

Sobre el valor de C_{total} se debe hacer la comparación de los transformadores.

Para el transformador de 17.2 MVA se tiene:

Co (S/.)	688000.00	Co (US\$)	200000.00
C (S/.)	384077.62	C (US\$)	111650.47
Ctotal (S/.)	1072077.62	Ctotal (US\$)	311650.47

*Tipo de cambio (S./US\$): 3.44 Abr. 2002

Tabla N° 4.3

CAPÍTULO V

COSTO OPTIMO DEL TRANSFORMADOR

En esta parte analizaremos el costo óptimo del transformador, optimizando tanto el costo en diseño, como costo en servicio y verificar si el transformador actualmente en uso es el más óptimo para el servicio de carga conocido.

5.1 Cálculos para obtener el costo óptimo de un transformador

Utilizaremos las siguientes fórmula deducida en el anexo C.

$$K_m = \frac{3P \cdot \gamma_f \cdot C_f}{E \cdot A \cdot F_c} + \pi A \cdot D^2 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot C_f + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot C_f + \frac{6 \cdot P \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D \cdot F_f} + \frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D^2 \cdot F_f} \quad (5.1)$$

$$K_w = \frac{3P \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f}{E \cdot A \cdot F_c} + \pi A \cdot D^2 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f + \frac{6 \cdot P \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c}{E \cdot D \cdot F_f} + \frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c}{E \cdot D^2 \cdot F_f} \quad (5.2)$$

$$K_t = \frac{3P \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f)}{E \cdot A \cdot F_c} + \pi A \cdot D^2 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f) + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f) + \frac{6 \cdot P \cdot \gamma_c \cdot (C_c + W_c \cdot q_c)}{E \cdot D \cdot F_f}$$

$$+ \frac{3P.A.\gamma_c.(C_c + W_c.q_c)}{E.D^2.F_f} \quad (5.3)$$

Donde:

K_m	:	Costo del material en US\$
K_w	:	Costo de las pérdidas en US\$
K_t	:	Costo total en US\$
A	:	Ancho de ventana en metros
F_f	:	Factor de Plenitud del Fierro
F_c	:	Factor de Plenitud del Cobre
C_n	:	Coficiente para peso del Núcleo
P	:	Potencia en VA
E	:	Solicitud específica en VA/m ⁴
γ_f	:	Peso específico del Fierro en kg/m ³
γ_c	:	Peso específico del Cobre en kg/m ³
C_f	:	Precio del Fierro en US\$/kg
C_c	:	Precio del Cobre en US\$/kg
q_f	:	Pérdidas específicas en el fierro en W/kg
q_c	:	Pérdidas específicas en el cobre en W/kg
W_f	:	Valorización de pérdidas en el Fierro en US\$/W
W_c	:	Valorización de pérdidas en el Cobre en US\$/W

Tenemos tres casos para verificar el proceso de optimización:

CASO 1: Optimización del costo de la parte activa. Se optimiza la ecuación (5.1).

CASO 2: Optimización del costo de las pérdidas. Se optimiza la ecuación (5.2).

CASO 3: Optimización del costo total. Se optimiza la ecuación (5.3).

En el anexo C se muestra el procedimiento para la optimización.

Se utilizaron los siguientes datos iniciales:

Potencia	kVA	17200
Tensión lado AT	kV	60
Frecuencia	Hz	60
Densidad de flujo	T	1.78
Densidad de corriente	A/mm ²	4.5
Factor de plenitud del núcleo		0.92
Factor de plenitud del arrollamiento		0.23
Precio del fierro	US\$/kg	5
Precio del cobre	US\$/kg	8
Pérdidas específicas en el fierro	W/kg	2
Pérdidas específicas en el cobre	W/kg	48.60
Valorización de pérdidas en el fierro	US\$/W	2.217
Valorización de pérdidas en el cobre	US\$/W	0.834

De donde se obtuvieron los resultados siguientes:

CARACTERISTICA	UNID.	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Diámetro de columna	mm	345.55	514.65	450.78
Ancho de ventana	mm	396.50	253.98	294.17
Altura de columna	mm	1,365.06	960.70	1,081.14
Peso de fierro	kg	5,118.04	10,227.83	8,002.67
Peso de cobre	kg	2,839.15	1,510.20	1,834.18
Costo de fierro	US\$	25,590.19	51,139.16	40,013.37
Costo de cobre	US\$	22,713.19	12,081.58	14,673.45
Costo de materiales	US\$	48,303.39	63,220.75	54,686.82
Pérdidas en el fierro	W	10,236.08	20,455.66	16,005.35
Pérdidas en el cobre	W	137,982.66	73,395.63	89,141.21
Costo de pérdidas en el fierro	US\$	22,693.38	45,350.21	35,483.86
Costo de pérdidas en el cobre	US\$	115,077.53	61,211.95	74,343.77
Costo de pérdidas	US\$	137,770.92	106,562.16	109,827.63
Costo Total	US\$	186,074.31	169,782.91	164,514.45

Tabla N° 5.1

5.2 Software de aplicación

Para efectos de optimizar costos del transformador trifásico se cuenta con un software denominado DTT elaborado por el Ing. Manuel Carranza, que usaremos para obtener el transformador óptimo, que genere menos costos tanto en su construcción como en su utilización y verificar si el transformador actualmente en uso es el más óptimo, los resultados se muestran en el anexo D.

5.3 Análisis de resultados

La siguiente tabla hace una comparación entre el transformador actualmente en uso y el transformador óptimo:

Característica	Transformador en uso	Transformador óptimo
Pérdidas en el hierro (kW)	15.20	16.01
Pérdidas en el cobre (kW)	93.48	89.14
Costo de pérdidas (US\$)	111,650.47	109,827.63
Costo de compra (US\$)	200,000.00	-
Costo de materiales (US\$)	-	54,686.82
Costo total (US\$)	311,650.47	164,514.45

Tabla Nº 5.2

Se aprecia que el costo de pérdidas del transformador actualmente en uso no difiere mucho del transformador óptimo, no podemos comparar el costo de compra, con el costo de materiales, por lo que el costo total es solamente referencial

Por lo tanto el transformador actualmente en uso es el óptimo.

CONCLUSIONES

1. Se debe observar que la capitalización de las pérdidas representa el 55.8% del valor de adquisición del transformador, de allí la importancia de optimizar el costo total del transformador
2. Las pérdidas en el cobre es 2.20 veces las pérdidas en el hierro, lo que quiere decir que hay mayor incidencia de las pérdidas en el cobre en las pérdidas totales
3. Reducir las pérdidas en el hierro y en los arrollamientos del transformador llevaría a un mayor costo de construcción del transformador.
4. El costo de pérdidas del transformador óptimo son cercanas a las pérdidas del transformador actualmente en uso, de lo que concluimos que el transformador actual es el adecuado.
5. El Factor K es pequeña, es decir hay poca influencia de armónicos, por lo que es suficiente el transformador estándar utilizado.

ANEXOS

ANEXO A
CÁLCULO DEL FACTOR K

TABLA N° A.1

h	I_h (Amp)	I_h/I_1 (pu)	$(I_h/I_1)^2$	$(h \cdot I_h/I_1)^2$
1	583.3689	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.2520	0.0004	0.0000	0.0000
3	2.1017	0.0036	0.0000	0.0001
4	0.2355	0.0004	0.0000	0.0000
5	6.9762	0.0120	0.0001	0.0036
6	0.1713	0.0003	0.0000	0.0000
7	4.3789	0.0075	0.0001	0.0028
8	0.1705	0.0003	0.0000	0.0000
9	0.0597	0.0001	0.0000	0.0000
10	0.0429	0.0001	0.0000	0.0000
11	1.7635	0.0030	0.0000	0.0011
12	0.0614	0.0001	0.0000	0.0000
13	0.1617	0.0003	0.0000	0.0000
14	0.0224	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0210	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.0228	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.1977	0.0003	0.0000	0.0000
18	0.0332	0.0001	0.0000	0.0000
19	0.1020	0.0002	0.0000	0.0000
20	0.0237	0.0000	0.0000	0.0000
21	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.0171	0.0000	0.0000	0.0000
23	0.2328	0.0004	0.0000	0.0001
24	0.0419	0.0001	0.0000	0.0000
25	0.1407	0.0002	0.0000	0.0000
26	0.0217	0.0000	0.0000	0.0000
27	0.0321	0.0001	0.0000	0.0000
28	0.0178	0.0000	0.0000	0.0000
29	0.0493	0.0001	0.0000	0.0000
30	0.0246	0.0000	0.0000	0.0000
31	0.0577	0.0001	0.0000	0.0000
32	0.0288	0.0000	0.0000	0.0000
33	0.0388	0.0001	0.0000	0.0000
34	0.0192	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.0707	0.0001	0.0000	0.0000
36	0.0201	0.0000	0.0000	0.0000
37	0.1095	0.0002	0.0000	0.0000
38	0.0268	0.0000	0.0000	0.0000
39	0.0336	0.0001	0.0000	0.0000
40	0.0570	0.0001	0.0000	0.0000
TOTAL			1.0002	1.0079
Factor K:	1.008			
P_{EC-R}:	0.15			
I_{max}(pu):	0.9995			

ANEXO B

CÁLCULO DEL DIAGRAMA MEDIO DE CARGA DIARIO

Se tiene el registro de la potencia activa y reactiva cada 15 minutos,
de los siete días de la semana el cual se muestra a continuación:

LUNES

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	1790.00	0.00	1158.43	0.00	12:15	2343.04	0.00	1073.35	0.00
00:30	1708.19	0.00	1115.89	0.00	12:30	2323.40	0.00	1053.71	0.00
00:45	1646.02	0.00	1096.25	0.00	12:45	2280.86	0.00	998.08	0.00
01:00	1610.02	0.00	1063.53	0.00	13:00	2307.04	0.00	1017.72	0.00
01:15	1583.84	0.00	1040.62	0.00	13:15	2300.50	0.00	1004.63	0.00
01:30	1534.76	0.00	1024.26	0.00	13:30	2313.59	0.00	1007.90	0.00
01:45	1505.30	0.00	1034.08	0.00	13:45	2310.31	0.00	1011.17	0.00
02:00	1466.04	0.00	975.18	0.00	14:00	2313.59	0.00	1034.08	0.00
02:15	1413.68	0.00	919.54	0.00	14:15	2349.58	0.00	1083.16	0.00
02:30	1400.59	0.00	886.82	0.00	14:30	2424.85	0.00	1138.80	0.00
02:45	1397.31	0.00	877.00	0.00	14:45	2434.67	0.00	1151.88	0.00
03:00	1394.04	0.00	886.82	0.00	15:00	2431.39	0.00	1148.61	0.00
03:15	1403.86	0.00	919.54	0.00	15:15	2336.49	0.00	1086.44	0.00
03:30	1367.86	0.00	877.00	0.00	15:30	2290.68	0.00	1076.62	0.00
03:45	1367.86	0.00	847.55	0.00	15:45	2297.22	0.00	1099.53	0.00
04:00	1354.77	0.00	841.01	0.00	16:00	2320.13	0.00	1096.25	0.00
04:15	1361.32	0.00	844.28	0.00	16:15	2379.03	0.00	1138.80	0.00
04:30	1364.59	0.00	834.46	0.00	16:30	2379.03	0.00	1151.88	0.00
04:45	1374.41	0.00	841.01	0.00	16:45	2388.85	0.00	1151.88	0.00
05:00	1387.50	0.00	860.64	0.00	17:00	2320.13	0.00	1102.80	0.00
05:15	1397.31	0.00	857.37	0.00	17:15	2254.68	0.00	1063.53	0.00
05:30	1416.95	0.00	873.73	0.00	17:30	2235.05	0.00	1040.62	0.00
05:45	1430.04	0.00	873.73	0.00	17:45	2202.33	0.00	1011.17	0.00
06:00	1469.31	0.00	903.18	0.00	18:00	2192.51	0.00	1014.44	0.00
06:15	1488.94	0.00	922.82	0.00	18:15	2218.69	0.00	1024.26	0.00
06:30	1492.21	0.00	932.63	0.00	18:30	2248.14	0.00	1040.62	0.00
06:45	1515.12	0.00	922.82	0.00	18:45	2362.67	0.00	1063.53	0.00
07:00	1521.67	0.00	814.83	0.00	19:00	2617.92	0.00	1344.96	0.00
07:15	1587.11	0.00	818.10	0.00	19:15	2781.54	0.00	1459.49	0.00
07:30	1770.37	0.00	1007.90	0.00	19:30	2863.35	0.00	1466.04	0.00
07:45	1904.54	0.00	1178.06	0.00	19:45	2892.80	0.00	1472.58	0.00
08:00	1950.35	0.00	1073.35	0.00	20:00	2905.89	0.00	1472.58	0.00
08:15	2032.16	0.00	805.01	0.00	20:15	2922.25	0.00	1479.12	0.00
08:30	2120.52	0.00	1050.44	0.00	20:30	2948.43	0.00	1498.76	0.00
08:45	2189.24	0.00	1099.53	0.00	20:45	2935.34	0.00	1505.30	0.00
09:00	2231.78	0.00	1148.61	0.00	21:00	2945.16	0.00	1518.39	0.00
09:15	2271.05	0.00	1178.06	0.00	21:15	2948.43	0.00	1619.84	0.00
09:30	2290.68	0.00	1197.70	0.00	21:30	2896.07	0.00	1508.58	0.00
09:45	2307.04	0.00	1240.24	0.00	21:45	2882.98	0.00	1502.03	0.00
10:00	2336.49	0.00	1289.33	0.00	22:00	2850.26	0.00	1394.04	0.00
10:15	2313.59	0.00	1148.61	0.00	22:15	2797.90	0.00	1299.14	0.00
10:30	2375.76	0.00	1142.07	0.00	22:30	2709.55	0.00	1096.25	0.00
10:45	2300.50	0.00	1089.71	0.00	22:45	2653.92	0.00	1145.34	0.00
11:00	2280.86	0.00	1092.98	0.00	23:00	2611.38	0.00	1253.33	0.00
11:15	2343.04	0.00	1122.43	0.00	23:15	2493.57	0.00	1626.38	0.00
11:30	2388.85	0.00	1132.25	0.00	23:30	2401.94	0.00	1583.84	0.00
11:45	2392.12	0.00	1122.43	0.00	23:45	2339.77	0.00	1557.66	0.00
12:00	2388.85	0.00	1109.34	0.00	24:00	2248.14	0.00	1430.04	0.00

Tabla N° B.1

MARTES

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2058.34	0.00	1551.12	0.00	12:15	1924.17	0.00	1050.44	0.00
00:30	1999.44	0.00	1518.39	0.00	12:30	1894.72	0.00	991.54	0.00
00:45	1933.99	0.00	1479.12	0.00	12:45	1871.81	0.00	952.27	0.00
01:00	1884.90	0.00	1462.76	0.00	13:00	1907.81	0.00	962.09	0.00
01:15	1832.54	0.00	1452.95	0.00	13:15	1914.35	0.00	939.18	0.00
01:30	1803.09	0.00	1403.86	0.00	13:30	1963.44	0.00	955.54	0.00
01:45	1767.10	0.00	1380.95	0.00	13:45	2045.25	0.00	975.18	0.00
02:00	1744.19	0.00	1394.04	0.00	14:00	2081.25	0.00	1014.44	0.00
02:15	1685.29	0.00	1361.32	0.00	14:15	2133.60	0.00	1083.16	0.00
02:30	1668.92	0.00	1351.50	0.00	14:30	2241.59	0.00	1384.23	0.00
02:45	1636.20	0.00	1194.43	0.00	14:45	2307.04	0.00	1240.24	0.00
03:00	1649.29	0.00	1286.05	0.00	15:00	2346.31	0.00	1416.95	0.00
03:15	1655.83	0.00	1295.87	0.00	15:15	2372.49	0.00	1590.39	0.00
03:30	1632.93	0.00	1269.69	0.00	15:30	2372.49	0.00	1570.75	0.00
03:45	1639.47	0.00	1214.06	0.00	15:45	2372.49	0.00	1564.21	0.00
04:00	1606.75	0.00	1011.17	0.00	16:00	2379.03	0.00	1570.75	0.00
04:15	1619.84	0.00	1017.72	0.00	16:15	2343.04	0.00	1564.21	0.00
04:30	1619.84	0.00	1024.26	0.00	16:30	2369.22	0.00	1449.67	0.00
04:45	1619.84	0.00	1024.26	0.00	16:45	2343.04	0.00	1308.96	0.00
05:00	1629.66	0.00	1024.26	0.00	17:00	2284.14	0.00	1282.78	0.00
05:15	1655.83	0.00	1030.81	0.00	17:15	2241.59	0.00	1256.60	0.00
05:30	1682.01	0.00	1060.26	0.00	17:30	2248.14	0.00	1256.60	0.00
05:45	1711.47	0.00	1063.53	0.00	17:45	1917.63	0.00	1060.26	0.00
06:00	1747.46	0.00	1073.35	0.00	18:00	2415.03	0.00	1407.13	0.00
06:15	1803.09	0.00	1092.98	0.00	18:15	2696.46	0.00	1498.76	0.00
06:30	1891.45	0.00	1112.62	0.00	18:30	2889.53	0.00	1557.66	0.00
06:45	1933.99	0.00	1344.96	0.00	18:45	2971.34	0.00	1603.48	0.00
07:00	1999.44	0.00	1472.58	0.00	19:00	2997.52	0.00	1616.57	0.00
07:15	2084.52	0.00	1668.92	0.00	19:15	3013.88	0.00	1731.10	0.00
07:30	2146.69	0.00	1708.19	0.00	19:30	3040.06	0.00	1875.09	0.00
07:45	2208.87	0.00	1963.44	0.00	19:45	3046.60	0.00	1871.81	0.00
08:00	2218.69	0.00	1992.89	0.00	20:00	3004.06	0.00	1649.29	0.00
08:15	2225.23	0.00	1207.52	0.00	20:15	3017.15	0.00	1714.74	0.00
08:30	2280.86	0.00	1335.14	0.00	20:30	2994.25	0.00	1747.46	0.00
08:45	2310.31	0.00	1482.40	0.00	20:45	2974.61	0.00	1698.38	0.00
09:00	2356.13	0.00	1724.55	0.00	21:00	2945.16	0.00	1662.38	0.00
09:15	2411.76	0.00	1842.36	0.00	21:15	2932.07	0.00	1675.47	0.00
09:30	2421.58	0.00	1865.27	0.00	21:30	2915.71	0.00	1668.92	0.00
09:45	2428.12	0.00	1868.54	0.00	21:45	2866.62	0.00	1606.75	0.00
10:00	2418.30	0.00	1875.09	0.00	22:00	2824.08	0.00	1528.21	0.00
10:15	2415.03	0.00	1888.17	0.00	22:15	2778.27	0.00	1521.67	0.00
10:30	2405.21	0.00	1875.09	0.00	22:30	2709.55	0.00	1495.49	0.00
10:45	2375.76	0.00	1848.91	0.00	22:45	2663.73	0.00	1472.58	0.00
11:00	2058.34	0.00	1587.11	0.00	23:00	2578.65	0.00	1315.50	0.00
11:15	1646.02	0.00	827.92	0.00	23:15	2441.21	0.00	1610.02	0.00
11:30	1839.09	0.00	1004.63	0.00	23:30	2323.40	0.00	1479.12	0.00
11:45	1950.35	0.00	1099.53	0.00	23:45	2238.32	0.00	1420.22	0.00
12:00	1973.26	0.00	1096.25	0.00	24:00	2146.69	0.00	1367.86	0.00

Tabla N° B.2

MIERCOLES

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2051.79	0.00	1322.05	0.00	12:15	2487.02	0.00	1672.20	0.00
00:30	1976.53	0.00	1295.87	0.00	12:30	2470.66	0.00	1629.66	0.00
00:45	1956.90	0.00	1456.22	0.00	12:45	2415.03	0.00	1587.11	0.00
01:00	1901.26	0.00	1325.32	0.00	13:00	2428.12	0.00	1587.11	0.00
01:15	1819.45	0.00	1168.25	0.00	13:15	2395.40	0.00	1518.39	0.00
01:30	1796.55	0.00	1161.70	0.00	13:30	2362.67	0.00	1498.76	0.00
01:45	1790.00	0.00	1164.97	0.00	13:45	2359.40	0.00	1538.03	0.00
02:00	1786.73	0.00	1377.68	0.00	14:00	2382.31	0.00	1557.66	0.00
02:15	1747.46	0.00	1374.41	0.00	14:15	2490.30	0.00	1649.29	0.00
02:30	1721.28	0.00	1344.96	0.00	14:30	2539.38	0.00	1691.83	0.00
02:45	1701.65	0.00	1341.68	0.00	14:45	2506.66	0.00	1659.11	0.00
03:00	1711.47	0.00	1351.50	0.00	15:00	2477.21	0.00	1538.03	0.00
03:15	1678.74	0.00	1171.52	0.00	15:15	2385.58	0.00	1410.40	0.00
03:30	1668.92	0.00	1168.25	0.00	15:30	2398.67	0.00	1416.95	0.00
03:45	1682.01	0.00	1256.60	0.00	15:45	2424.85	0.00	1436.58	0.00
04:00	1691.83	0.00	1335.14	0.00	16:00	2434.67	0.00	1423.49	0.00
04:15	1675.47	0.00	1328.59	0.00	16:15	2362.67	0.00	1505.30	0.00
04:30	1659.11	0.00	1315.50	0.00	16:30	2437.94	0.00	1691.83	0.00
04:45	1682.01	0.00	1328.59	0.00	16:45	2441.21	0.00	1482.40	0.00
05:00	1688.56	0.00	1348.23	0.00	17:00	2388.85	0.00	1659.11	0.00
05:15	1747.46	0.00	1358.05	0.00	17:15	2365.95	0.00	1629.66	0.00
05:30	1780.19	0.00	1377.68	0.00	17:30	2336.49	0.00	1616.57	0.00
05:45	1793.28	0.00	1374.41	0.00	17:45	2421.58	0.00	1662.38	0.00
06:00	1822.73	0.00	1387.50	0.00	18:00	2575.38	0.00	1662.38	0.00
06:15	1894.72	0.00	1423.49	0.00	18:15	2794.63	0.00	1613.29	0.00
06:30	1979.80	0.00	1462.76	0.00	18:30	2925.53	0.00	1596.93	0.00
06:45	2012.53	0.00	1394.04	0.00	18:45	2951.70	0.00	1587.11	0.00
07:00	2048.52	0.00	1295.87	0.00	19:00	2954.98	0.00	1554.39	0.00
07:15	2136.88	0.00	1364.59	0.00	19:15	2954.98	0.00	1544.57	0.00
07:30	2267.77	0.00	1456.22	0.00	19:30	2997.52	0.00	1567.48	0.00
07:45	2310.31	0.00	1544.57	0.00	19:45	3004.06	0.00	1570.75	0.00
08:00	2349.58	0.00	1691.83	0.00	20:00	3004.06	0.00	1557.66	0.00
08:15	2428.12	0.00	1390.77	0.00	20:15	3007.34	0.00	1570.75	0.00
08:30	2447.76	0.00	1492.21	0.00	20:30	3007.34	0.00	1574.02	0.00
08:45	2480.48	0.00	1547.85	0.00	20:45	2994.25	0.00	1551.12	0.00
09:00	2519.75	0.00	1610.02	0.00	21:00	2997.52	0.00	1655.83	0.00
09:15	2496.84	0.00	1613.29	0.00	21:15	3004.06	0.00	1649.29	0.00
09:30	2516.48	0.00	1639.47	0.00	21:30	2961.52	0.00	1678.74	0.00
09:45	2493.57	0.00	1407.13	0.00	21:45	2925.53	0.00	1708.19	0.00
10:00	2506.66	0.00	1420.22	0.00	22:00	2886.26	0.00	1668.92	0.00
10:15	2516.48	0.00	1436.58	0.00	22:15	2853.53	0.00	1619.84	0.00
10:30	2477.21	0.00	1403.86	0.00	22:30	2765.18	0.00	1567.48	0.00
10:45	2490.30	0.00	1403.86	0.00	22:45	2667.01	0.00	1367.86	0.00
11:00	2539.38	0.00	1596.93	0.00	23:00	2608.10	0.00	1446.40	0.00
11:15	2568.83	0.00	1760.55	0.00	23:15	2480.48	0.00	1744.19	0.00
11:30	2555.74	0.00	1754.01	0.00	23:30	2411.76	0.00	1793.28	0.00
11:45	2532.84	0.00	1747.46	0.00	23:45	2329.95	0.00	1754.01	0.00
12:00	2480.48	0.00	1721.28	0.00	24:00	2257.96	0.00	1708.19	0.00

Tabla N° B.3

JUEVES

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2146.69	0.00	1632.93	0.00	12:15	2480.48	0.00	1430.04	0.00
00:30	2074.70	0.00	1616.57	0.00	12:30	2428.12	0.00	1390.77	0.00
00:45	1996.16	0.00	1475.85	0.00	12:45	2379.03	0.00	1341.68	0.00
01:00	1940.53	0.00	1377.68	0.00	13:00	2388.85	0.00	1331.87	0.00
01:15	1920.90	0.00	1518.39	0.00	13:15	2339.77	0.00	1305.69	0.00
01:30	1839.09	0.00	1243.51	0.00	13:30	2356.13	0.00	1315.50	0.00
01:45	1806.36	0.00	1243.51	0.00	13:45	2375.76	0.00	1331.87	0.00
02:00	1786.73	0.00	1236.97	0.00	14:00	2395.40	0.00	1351.50	0.00
02:15	1757.28	0.00	1361.32	0.00	14:15	2460.84	0.00	1413.68	0.00
02:30	1724.55	0.00	1230.42	0.00	14:30	2480.48	0.00	1449.67	0.00
02:45	1714.74	0.00	1112.62	0.00	14:45	2500.11	0.00	1475.85	0.00
03:00	1711.47	0.00	1112.62	0.00	15:00	2493.57	0.00	1446.40	0.00
03:15	1704.92	0.00	1112.62	0.00	15:15	2431.39	0.00	1423.49	0.00
03:30	1695.10	0.00	1115.89	0.00	15:30	2431.39	0.00	1430.04	0.00
03:45	1678.74	0.00	1099.53	0.00	15:45	2401.94	0.00	1400.59	0.00
04:00	1698.38	0.00	1102.80	0.00	16:00	2415.03	0.00	1416.95	0.00
04:15	1701.65	0.00	1083.16	0.00	16:15	2375.76	0.00	1394.04	0.00
04:30	1695.10	0.00	1070.07	0.00	16:30	2411.76	0.00	1416.95	0.00
04:45	1691.83	0.00	1073.35	0.00	16:45	2421.58	0.00	1426.77	0.00
05:00	1688.56	0.00	1070.07	0.00	17:00	2454.30	0.00	1469.31	0.00
05:15	1734.37	0.00	1092.98	0.00	17:15	2424.85	0.00	1551.12	0.00
05:30	1770.37	0.00	1191.15	0.00	17:30	2444.48	0.00	1655.83	0.00
05:45	1783.46	0.00	1119.16	0.00	17:45	2477.21	0.00	1649.29	0.00
06:00	1806.36	0.00	1128.98	0.00	18:00	2591.74	0.00	1646.02	0.00
06:15	1852.18	0.00	1145.34	0.00	18:15	2758.63	0.00	1502.03	0.00
06:30	1914.35	0.00	1151.88	0.00	18:30	2876.44	0.00	1538.03	0.00
06:45	1976.53	0.00	1171.52	0.00	18:45	2905.89	0.00	1534.76	0.00
07:00	2009.25	0.00	1194.43	0.00	19:00	2912.44	0.00	1515.12	0.00
07:15	2087.79	0.00	1305.69	0.00	19:15	2932.07	0.00	1505.30	0.00
07:30	2176.15	0.00	1482.40	0.00	19:30	2961.52	0.00	1508.58	0.00
07:45	2225.23	0.00	1479.12	0.00	19:45	2971.34	0.00	1502.03	0.00
08:00	2280.86	0.00	1678.74	0.00	20:00	2971.34	0.00	1488.94	0.00
08:15	2369.22	0.00	1466.04	0.00	20:15	2984.43	0.00	1639.47	0.00
08:30	2467.39	0.00	1570.75	0.00	20:30	2968.07	0.00	1704.92	0.00
08:45	2516.48	0.00	1642.74	0.00	20:45	2964.79	0.00	1711.47	0.00
09:00	2536.11	0.00	1672.20	0.00	21:00	2964.79	0.00	1691.83	0.00
09:15	2559.02	0.00	1678.74	0.00	21:15	2932.07	0.00	1652.56	0.00
09:30	2516.48	0.00	1456.22	0.00	21:30	2945.16	0.00	1678.74	0.00
09:45	2516.48	0.00	1534.76	0.00	21:45	2922.25	0.00	1675.47	0.00
10:00	2513.20	0.00	1590.39	0.00	22:00	2830.63	0.00	1338.41	0.00
10:15	2509.93	0.00	1485.67	0.00	22:15	2804.45	0.00	1305.69	0.00
10:30	2526.29	0.00	1469.31	0.00	22:30	2752.09	0.00	1367.86	0.00
10:45	2506.66	0.00	1479.12	0.00	22:45	2676.82	0.00	1318.78	0.00
11:00	2506.66	0.00	1479.12	0.00	23:00	2575.38	0.00	1354.77	0.00
11:15	2506.66	0.00	1482.40	0.00	23:15	2451.03	0.00	1577.30	0.00
11:30	2516.48	0.00	1479.12	0.00	23:30	2343.04	0.00	1475.85	0.00
11:45	2509.93	0.00	1479.12	0.00	23:45	2257.96	0.00	1436.58	0.00
12:00	2513.20	0.00	1472.58	0.00	24:00	2189.24	0.00	1390.77	0.00

Tabla N° B.4

VIERNES

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2127.06	0.00	1387.50	0.00	12:15	2451.03	0.00	1374.41	0.00
00:30	2064.88	0.00	1544.57	0.00	12:30	2473.93	0.00	1377.68	0.00
00:45	1979.80	0.00	1515.12	0.00	12:45	2424.85	0.00	1318.78	0.00
01:00	1927.44	0.00	1511.85	0.00	13:00	2408.49	0.00	1289.33	0.00
01:15	1907.81	0.00	1511.85	0.00	13:15	2369.22	0.00	1253.33	0.00
01:30	1865.27	0.00	1488.94	0.00	13:30	2349.58	0.00	1236.97	0.00
01:45	1829.27	0.00	1462.76	0.00	13:45	2323.40	0.00	1240.24	0.00
02:00	1790.00	0.00	1286.05	0.00	14:00	2359.40	0.00	1256.60	0.00
02:15	1744.19	0.00	1236.97	0.00	14:15	2424.85	0.00	1338.41	0.00
02:30	1701.65	0.00	1060.26	0.00	14:30	2467.39	0.00	1371.14	0.00
02:45	1685.29	0.00	1030.81	0.00	14:45	2447.76	0.00	1358.05	0.00
03:00	1698.38	0.00	1043.90	0.00	15:00	2398.67	0.00	1344.96	0.00
03:15	1698.38	0.00	1060.26	0.00	15:15	2415.03	0.00	1341.68	0.00
03:30	1682.01	0.00	1043.90	0.00	15:30	2349.58	0.00	1312.23	0.00
03:45	1672.20	0.00	1027.53	0.00	15:45	2362.67	0.00	1308.96	0.00
04:00	1672.20	0.00	1034.08	0.00	16:00	2349.58	0.00	1312.23	0.00
04:15	1672.20	0.00	1056.99	0.00	16:15	2395.40	0.00	1341.68	0.00
04:30	1698.38	0.00	1060.26	0.00	16:30	2349.58	0.00	1305.69	0.00
04:45	1711.47	0.00	1070.07	0.00	16:45	2369.22	0.00	1322.05	0.00
05:00	1708.19	0.00	1079.89	0.00	17:00	2415.03	0.00	1335.14	0.00
05:15	1731.10	0.00	1060.26	0.00	17:15	2356.13	0.00	1282.78	0.00
05:30	1750.73	0.00	1073.35	0.00	17:30	2362.67	0.00	1286.05	0.00
05:45	1760.55	0.00	1073.35	0.00	17:45	2388.85	0.00	1276.24	0.00
06:00	1790.00	0.00	1099.53	0.00	18:00	2503.39	0.00	1348.23	0.00
06:15	1816.18	0.00	1086.44	0.00	18:15	2755.36	0.00	1482.40	0.00
06:30	1881.63	0.00	1119.16	0.00	18:30	2902.62	0.00	1521.67	0.00
06:45	1930.72	0.00	1145.34	0.00	18:45	2945.16	0.00	1531.48	0.00
07:00	1966.71	0.00	1236.97	0.00	19:00	2954.98	0.00	1511.85	0.00
07:15	2038.71	0.00	1318.78	0.00	19:15	2951.70	0.00	1498.76	0.00
07:30	2185.96	0.00	1420.22	0.00	19:30	2968.07	0.00	1505.30	0.00
07:45	2261.23	0.00	1583.84	0.00	19:45	2987.70	0.00	1515.12	0.00
08:00	2277.59	0.00	1560.93	0.00	20:00	2987.70	0.00	1646.02	0.00
08:15	2290.68	0.00	1106.07	0.00	20:15	3020.43	0.00	1809.64	0.00
08:30	2398.67	0.00	1204.24	0.00	20:30	2984.43	0.00	1613.29	0.00
08:45	2428.12	0.00	1240.24	0.00	20:45	2968.07	0.00	1721.28	0.00
09:00	2506.66	0.00	1335.14	0.00	21:00	2977.88	0.00	1780.19	0.00
09:15	2513.20	0.00	1341.68	0.00	21:15	2909.16	0.00	1459.49	0.00
09:30	2542.65	0.00	1377.68	0.00	21:30	2922.25	0.00	1587.11	0.00
09:45	2549.20	0.00	1377.68	0.00	21:45	2902.62	0.00	1659.11	0.00
10:00	2529.57	0.00	1390.77	0.00	22:00	2866.62	0.00	1623.11	0.00
10:15	2516.48	0.00	1452.95	0.00	22:15	2801.17	0.00	1443.13	0.00
10:30	2575.38	0.00	1668.92	0.00	22:30	2739.00	0.00	1416.95	0.00
10:45	2523.02	0.00	1472.58	0.00	22:45	2676.82	0.00	1403.86	0.00
11:00	2523.02	0.00	1472.58	0.00	23:00	2585.20	0.00	1430.04	0.00
11:15	2565.56	0.00	1459.49	0.00	23:15	2473.93	0.00	1731.10	0.00
11:30	2575.38	0.00	1452.95	0.00	23:30	2411.76	0.00	1767.10	0.00
11:45	2549.20	0.00	1449.67	0.00	23:45	2349.58	0.00	1724.55	0.00
12:00	2493.57	0.00	1403.86	0.00	24:00	2248.14	0.00	1672.20	0.00

Tabla N° B.5

SABADO

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2163.06	0.00	1632.93	0.00	12:15	2195.78	0.00	1128.98	0.00
00:30	2100.88	0.00	1606.75	0.00	12:30	2169.60	0.00	1119.16	0.00
00:45	2061.61	0.00	1600.20	0.00	12:45	2084.52	0.00	1050.44	0.00
01:00	1983.07	0.00	1377.68	0.00	13:00	2071.43	0.00	1034.08	0.00
01:15	1920.90	0.00	1511.85	0.00	13:15	2077.97	0.00	1027.53	0.00
01:30	1884.90	0.00	1482.40	0.00	13:30	2117.24	0.00	1034.08	0.00
01:45	1865.27	0.00	1462.76	0.00	13:45	2097.61	0.00	1030.81	0.00
02:00	1842.36	0.00	1475.85	0.00	14:00	2107.43	0.00	1043.90	0.00
02:15	1773.64	0.00	1286.05	0.00	14:15	2120.52	0.00	1047.17	0.00
02:30	1737.64	0.00	1164.97	0.00	14:30	2100.88	0.00	1024.26	0.00
02:45	1718.01	0.00	1148.61	0.00	14:45	2091.06	0.00	1024.26	0.00
03:00	1721.28	0.00	1161.70	0.00	15:00	2094.34	0.00	1004.63	0.00
03:15	1731.10	0.00	1246.78	0.00	15:15	2051.79	0.00	981.72	0.00
03:30	1708.19	0.00	1335.14	0.00	15:30	2035.43	0.00	981.72	0.00
03:45	1678.74	0.00	1325.32	0.00	15:45	2032.16	0.00	1073.35	0.00
04:00	1682.01	0.00	1322.05	0.00	16:00	2025.62	0.00	1099.53	0.00
04:15	1688.56	0.00	1338.41	0.00	16:15	1986.35	0.00	945.72	0.00
04:30	1691.83	0.00	1338.41	0.00	16:30	1986.35	0.00	965.36	0.00
04:45	1691.83	0.00	1341.68	0.00	16:45	1992.89	0.00	968.63	0.00
05:00	1688.56	0.00	1348.23	0.00	17:00	1999.44	0.00	962.09	0.00
05:15	1721.28	0.00	1312.23	0.00	17:15	1996.16	0.00	955.54	0.00
05:30	1734.37	0.00	1174.79	0.00	17:30	2038.71	0.00	968.63	0.00
05:45	1734.37	0.00	1086.44	0.00	17:45	2130.33	0.00	1011.17	0.00
06:00	1737.64	0.00	1070.07	0.00	18:00	2251.41	0.00	1043.90	0.00
06:15	1760.55	0.00	1106.07	0.00	18:15	2467.39	0.00	1128.98	0.00
06:30	1783.46	0.00	1125.71	0.00	18:30	2657.19	0.00	1246.78	0.00
06:45	1786.73	0.00	1119.16	0.00	18:45	2706.27	0.00	1253.33	0.00
07:00	1770.37	0.00	1112.62	0.00	19:00	2719.36	0.00	1250.06	0.00
07:15	1809.64	0.00	1145.34	0.00	19:15	2696.46	0.00	1217.33	0.00
07:30	1878.36	0.00	1240.24	0.00	19:30	2703.00	0.00	1200.97	0.00
07:45	1969.98	0.00	1433.31	0.00	19:45	2719.36	0.00	1223.88	0.00
08:00	2002.71	0.00	1344.96	0.00	20:00	2722.64	0.00	1223.88	0.00
08:15	2143.42	0.00	1164.97	0.00	20:15	2729.18	0.00	1233.69	0.00
08:30	2159.78	0.00	1004.63	0.00	20:30	2735.73	0.00	1233.69	0.00
08:45	2202.33	0.00	1043.90	0.00	20:45	2745.54	0.00	1377.68	0.00
09:00	2241.59	0.00	1073.35	0.00	21:00	2755.36	0.00	1485.67	0.00
09:15	2248.14	0.00	1089.71	0.00	21:15	2709.55	0.00	1466.04	0.00
09:30	2251.41	0.00	1096.25	0.00	21:30	2680.10	0.00	1276.24	0.00
09:45	2254.68	0.00	1164.97	0.00	21:45	2657.19	0.00	1233.69	0.00
10:00	2251.41	0.00	1171.52	0.00	22:00	2624.46	0.00	1331.87	0.00
10:15	2251.41	0.00	1187.88	0.00	22:15	2578.65	0.00	1289.33	0.00
10:30	2244.87	0.00	1191.15	0.00	22:30	2539.38	0.00	1253.33	0.00
10:45	2257.96	0.00	1194.43	0.00	22:45	2500.11	0.00	1233.69	0.00
11:00	2274.32	0.00	1217.33	0.00	23:00	2457.57	0.00	1181.34	0.00
11:15	2244.87	0.00	1200.97	0.00	23:15	2349.58	0.00	1407.13	0.00
11:30	2264.50	0.00	1200.97	0.00	23:30	2300.50	0.00	1361.32	0.00
11:45	2264.50	0.00	1207.52	0.00	23:45	2221.96	0.00	1335.14	0.00
12:00	2257.96	0.00	1187.88	0.00	24:00	2166.33	0.00	1299.14	0.00

Tabla N° B.6

DOMINGO

Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr	Time	1 - kWhd	2 - kWhr	3 - kVARhd	4 - kVARhr
00:15	2084.52	0.00	1263.15	0.00	12:15	1806.36	0.00	1367.86	0.00
00:30	2041.98	0.00	1312.23	0.00	12:30	1806.36	0.00	1371.14	0.00
00:45	1956.90	0.00	1348.23	0.00	12:45	1790.00	0.00	1371.14	0.00
01:00	1839.09	0.00	1050.44	0.00	13:00	1783.46	0.00	1367.86	0.00
01:15	1803.09	0.00	1256.60	0.00	13:15	1770.37	0.00	1335.14	0.00
01:30	1770.37	0.00	1250.06	0.00	13:30	1767.10	0.00	1335.14	0.00
01:45	1704.92	0.00	1135.52	0.00	13:45	1754.01	0.00	1338.41	0.00
02:00	1642.74	0.00	968.63	0.00	14:00	1747.46	0.00	1335.14	0.00
02:15	1603.48	0.00	942.45	0.00	14:15	1737.64	0.00	1331.87	0.00
02:30	1580.57	0.00	932.63	0.00	14:30	1708.19	0.00	1302.42	0.00
02:45	1567.48	0.00	929.36	0.00	14:45	1695.10	0.00	1299.14	0.00
03:00	1541.30	0.00	909.73	0.00	15:00	1678.74	0.00	1269.69	0.00
03:15	1515.12	0.00	899.91	0.00	15:15	1682.01	0.00	1266.42	0.00
03:30	1518.39	0.00	909.73	0.00	15:30	1685.29	0.00	1276.24	0.00
03:45	1505.30	0.00	899.91	0.00	15:45	1682.01	0.00	1263.15	0.00
04:00	1495.49	0.00	890.09	0.00	16:00	1659.11	0.00	1269.69	0.00
04:15	1498.76	0.00	896.64	0.00	16:15	1675.47	0.00	1299.14	0.00
04:30	1498.76	0.00	903.18	0.00	16:30	1662.38	0.00	1305.69	0.00
04:45	1485.67	0.00	896.64	0.00	16:45	1662.38	0.00	1272.96	0.00
05:00	1498.76	0.00	899.91	0.00	17:00	1675.47	0.00	1236.97	0.00
05:15	1518.39	0.00	916.27	0.00	17:15	1701.65	0.00	1286.05	0.00
05:30	1521.67	0.00	913.00	0.00	17:30	1780.19	0.00	1312.23	0.00
05:45	1518.39	0.00	906.45	0.00	17:45	1865.27	0.00	1200.97	0.00
06:00	1528.21	0.00	929.36	0.00	18:00	2015.80	0.00	1125.71	0.00
06:15	1557.66	0.00	1109.34	0.00	18:15	2235.05	0.00	814.83	0.00
06:30	1531.48	0.00	916.27	0.00	18:30	2336.49	0.00	926.09	0.00
06:45	1495.49	0.00	886.82	0.00	18:45	2398.67	0.00	1119.16	0.00
07:00	1420.22	0.00	857.37	0.00	19:00	2418.30	0.00	1128.98	0.00
07:15	1400.59	0.00	916.27	0.00	19:15	2418.30	0.00	1112.62	0.00
07:30	1410.40	0.00	798.47	0.00	19:30	2428.12	0.00	1099.53	0.00
07:45	1443.13	0.00	863.91	0.00	19:45	2421.58	0.00	867.19	0.00
08:00	1498.76	0.00	916.27	0.00	20:00	2418.30	0.00	857.37	0.00
08:15	1538.03	0.00	965.36	0.00	20:15	2418.30	0.00	863.91	0.00
08:30	1587.11	0.00	1027.53	0.00	20:30	2428.12	0.00	863.91	0.00
08:45	1636.20	0.00	1011.17	0.00	20:45	2434.67	0.00	860.64	0.00
09:00	1672.20	0.00	1037.35	0.00	21:00	2441.21	0.00	857.37	0.00
09:15	1695.10	0.00	1043.90	0.00	21:15	2424.85	0.00	863.91	0.00
09:30	1724.55	0.00	1060.26	0.00	21:30	2401.94	0.00	857.37	0.00
09:45	1754.01	0.00	1106.07	0.00	21:45	2379.03	0.00	857.37	0.00
10:00	1796.55	0.00	1292.60	0.00	22:00	2356.13	0.00	837.73	0.00
10:15	1783.46	0.00	1083.16	0.00	22:15	2336.49	0.00	831.19	0.00
10:30	1786.73	0.00	1092.98	0.00	22:30	2271.05	0.00	798.47	0.00
10:45	1809.64	0.00	1158.43	0.00	22:45	2212.14	0.00	775.56	0.00
11:00	1826.00	0.00	1207.52	0.00	23:00	2146.69	0.00	811.56	0.00
11:15	1829.27	0.00	1394.04	0.00	23:15	2045.25	0.00	1125.71	0.00
11:30	1826.00	0.00	1387.50	0.00	23:30	1992.89	0.00	1122.43	0.00
11:45	1819.45	0.00	1374.41	0.00	23:45	1917.63	0.00	1128.98	0.00
12:00	1809.64	0.00	1374.41	0.00	24:00	1845.63	0.00	1164.97	0.00

Tabla N° B.7

De estos datos se obtiene la potencia aparente, y se ha obtenido un diagrama de carga característica por cada día de la semana, como se observa en la Figura N° B.1, según la Tabla N° B.8

Luego se promedia los diagramas de carga de todos los días de la semana, considerando el carácter cuadrático de las pérdidas en el cobre, es decir:

$$S_{i_{equiv}} = \sqrt{\frac{S_{i_{lu}}^2 + S_{i_{ma}}^2 + S_{i_{mi}}^2 + S_{i_{ju}}^2 + S_{i_{vi}}^2 + S_{i_{sa}}^2 + S_{i_{do}}^2}{7}} \quad (B.1)$$

Donde:

$S_{i_{equiv}}$	Potencia aparente equivalente en el instante i .
$S_{i_{lu}}, S_{i_{ma}}, \dots, S_{i_{do}}$	Son las potencias aparentes en el instante i , de los días lunes, martes, ...domingo.

Finalmente se obtiene un diagrama media de carga diario que se muestra en la Figura N° B.2, según la Tabla N° B.9.

Tiempo	S (kVA)							Tiempo	S (kVA)						
	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do		Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do
00:15	8519	9889	10185	10517	11058	10568	10082	12:15	10272	11412	11713	11160	11410	10014	7839
00:30	8132	9743	10063	10245	10667	10188	9769	12:30	10211	11118	11440	10938	11278	9904	7800
00:45	7733	9590	10097	9902	10176	9947	9499	12:45	9934	10635	11121	10600	10979	9653	7647
01:00	7456	9369	9738	9785	9855	9984	9314	13:00	9934	10703	11107	10661	11060	9630	7618
01:15	7269	9272	9364	9651	9611	9561	9009	13:15	9819	10775	10992	10687	10931	9449	7632
01:30	7080	8873	9176	9100	9275	9370	8687	13:30	9857	10892	10837	10748	11000	9195	7627
01:45	6988	8627	9120	8951	8910	9188	8339	13:45	9878	10741	10787	10861	11113	9138	7547
02:00	6853	8223	9104	8875	8918	8990	8092	14:00	9959	10841	10914	11045	11183	9233	7585
02:15	6622	8020	8923	8820	8893	8694	8156	14:15	10138	11077	11211	11265	11321	9297	7558
02:30	6584	7965	8749	8636	8957	8374	8082	14:30	10344	11305	11378	11351	11521	9322	7574
02:45	6561	8087	8698	8373	9058	8299	7843	14:45	10586	11393	11316	11362	11614	9380	7773
03:00	6569	8114	8717	8246	9009	8226	7655	15:00	10537	11400	11205	11401	11702	9331	7673
03:15	6579	7956	8327	8244	8460	8118	7628	15:15	10433	11334	11028	11309	11842	9254	7620
03:30	6467	7934	8300	8449	8201	8193	7543	15:30	10457	11285	11210	11490	11772	9128	7622
03:45	6594	7759	8438	8470	8134	8130	7277	15:45	10451	11091	11280	11411	11577	9059	7601
04:00	6481	7695	8514	8499	8230	8168	7440	16:00	10492	11111	11223	11434	11438	9076	7704
04:15	6446	7681	8548	8448	8283	8237	7481	16:15	10592	11316	11127	11338	11449	9067	7621
04:30	6443	7768	8690	8216	8178	8360	7442	16:30	10569	11239	11293	11227	11501	8942	7783
04:45	6486	7858	8741	8228	8048	8336	7433	16:45	10629	11228	11145	10984	11592	8879	7454
05:00	6499	7826	8760	8252	8120	8211	7418	17:00	10502	11243	11199	11174	11601	8890	7526
05:15	6520	7980	8848	8376	8383	8255	7340	17:15	10395	11233	10885	11281	11307	8852	7687
05:30	6635	8175	8895	8537	8436	8236	7318	17:30	10381	11047	10879	11212	11217	8928	7922
05:45	6672	8105	8927	8536	8428	8218	7237	17:45	10392	11000	10960	11460	11067	9035	8241
06:00	6801	8022	9041	8565	8406	8291	7187	18:00	10368	10969	11210	11649	11287	9322	8264
06:15	7019	8157	9091	8670	8508	8310	7068	18:15	10829	11305	11474	11776	11216	9818	8074
06:30	7242	8381	9262	8668	8701	8439	6996	18:30	11288	11425	11636	11703	11529	10339	8518
06:45	7478	8706	9458	8788	8907	8466	6947	18:45	11964	11855	11945	11892	12016	11129	9112
07:00	7585	8715	9359	8987	9150	8312	6941	19:00	12811	12166	12317	12371	12809	11494	9562
07:15	8015	9238	9586	9331	9667	8583	6569	19:15	13072	12384	12698	12380	13053	11777	9872
07:30	8628	9813	9951	9798	10436	9076	6769	19:30	13247	12585	12800	12416	13379	11797	10003
07:45	9046	9962	10213	10467	10545	9048	6999	19:45	13259	12741	12778	12527	13764	11917	10237
08:00	9273	10087	10766	10681	10985	9494	7202	20:00	13273	12914	12779	12602	13748	11881	10392
08:15	9225	10072	10596	10613	10656	9433	7382	20:15	13297	13005	12810	12685	13750	11890	10495
08:30	9591	10458	10995	11220	11072	9694	7524	20:30	13400	13032	12963	12714	13779	11895	10512
08:45	9811	10600	11086	11294	11158	9902	7500	20:45	13289	13242	13235	12976	13978	11878	10494
09:00	10020	10771	11170	11370	11217	9879	7519	21:00	13285	13413	13522	13382	13923	11988	10429
09:15	10187	10823	11074	11330	11202	9920	7543	21:15	13192	13487	13604	13404	13760	11864	10438
09:30	10206	10793	11256	11300	11504	10136	7663	21:30	12883	13432	13465	13374	13674	11823	10390
09:45	10301	11000	11380	11500	11732	10119	7765	21:45	12911	13292	13299	13347	13524	11744	10256
10:00	10455	11163	11147	11580	11685	10267	7851	22:00	12658	13125	13061	12753	13349	11696	10130
10:15	10354	11423	11328	11411	11618	10073	7864	22:15	12423	12650	12800	12596	13115	11593	9955
10:30	10533	11471	11345	11516	11569	9981	7860	22:30	11739	12457	12435	12315	13024	11455	9681
10:45	10549	11439	11431	11520	11317	10035	7875	22:45	11530	12028	11972	11769	12546	11300	9425
11:00	10485	11529	11811	11417	11288	10265	7911	23:00	11385	11674	11659	11595	12076	10981	9259
11:15	10470	11708	12009	11354	11468	10136	7885	23:15	11419	11801	11903	11805	12100	11019	9479
11:30	10543	11908	11793	11141	11741	10201	7866	23:30	10965	11420	11741	11451	11519	10956	9241
11:45	10511	11854	11795	11363	11844	10165	7852	23:45	10686	10936	11408	11147	11179	10799	8922
12:00	10487	11784	11792	11416	11661	10164	7858	24:00	10290	10613	11016	10814	11012	10426	8610

Tabla N° B.8

Diagrama de carga aparente por día

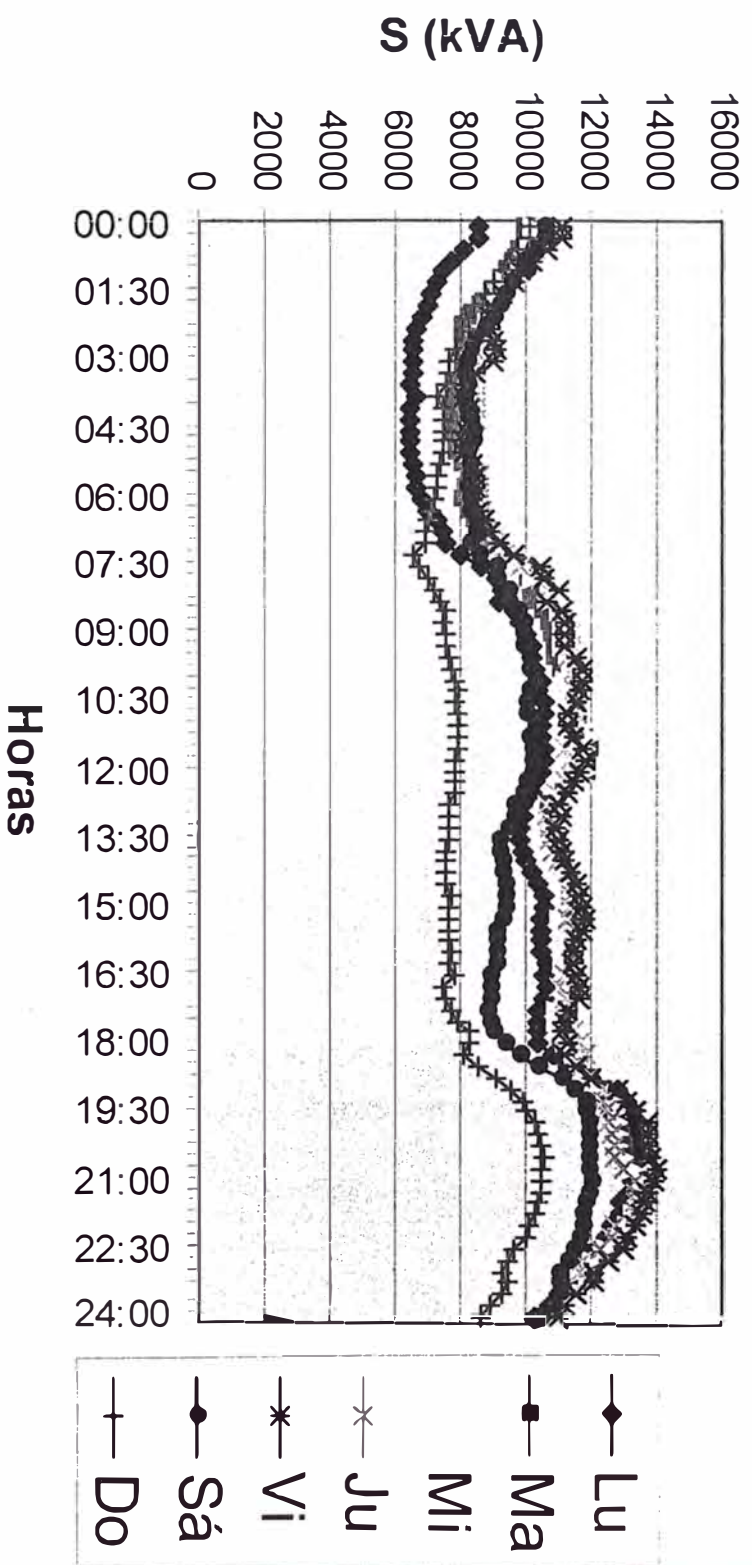


Figura Nº B.1

Tiempo	S(kVA)	tiempo	S(kVA)	tiempo	S(kVA)	tiempo	S(kVA)
00:15	10144	06:15	8150	12:15	10619	18:15	10709
00:30	9858	06:30	8276	12:30	10450	18:30	10972
00:45	9595	06:45	8432	12:45	10142	18:45	11458
01:00	9392	07:00	8475	13:00	10166	19:00	11979
01:15	9139	07:15	8773	13:15	10104	19:15	12220
01:30	8825	07:30	9280	13:30	10089	19:30	12364
01:45	8618	07:45	9539	13:45	10080	19:45	12505
02:00	8469	08:00	9859	14:00	10182	20:00	12554
02:15	8339	08:15	9772	14:15	10349	20:15	12601
02:30	8225	08:30	10151	14:30	10489	20:30	12655
02:45	8165	08:45	10267	14:45	10571	20:45	12773
03:00	8110	09:00	10354	15:00	10552	21:00	12899
03:15	7924	09:15	10370	15:15	10493	21:15	12871
03:30	7895	09:30	10480	15:30	10518	21:30	12769
03:45	7854	09:45	10618	15:45	10444	21:45	12674
04:00	7890	10:00	10663	16:00	10439	22:00	12440
04:15	7905	10:15	10654	16:15	10447	22:15	12203
04:30	7902	10:30	10684	16:30	10450	22:30	11915
04:45	7905	10:45	10666	16:45	10370	22:45	11547
05:00	7898	11:00	10744	17:00	10401	23:00	11266
05:15	7990	11:15	10799	17:15	10318	23:15	11392
05:30	8066	11:30	10823	17:30	10297	23:30	11070
05:45	8051	11:45	10853	17:45	10368	23:45	10753
06:00	8078	12:00	10818	18:00	10500	24:00	10426

Tabla N° B.9

Diagrama medio de carga aparente

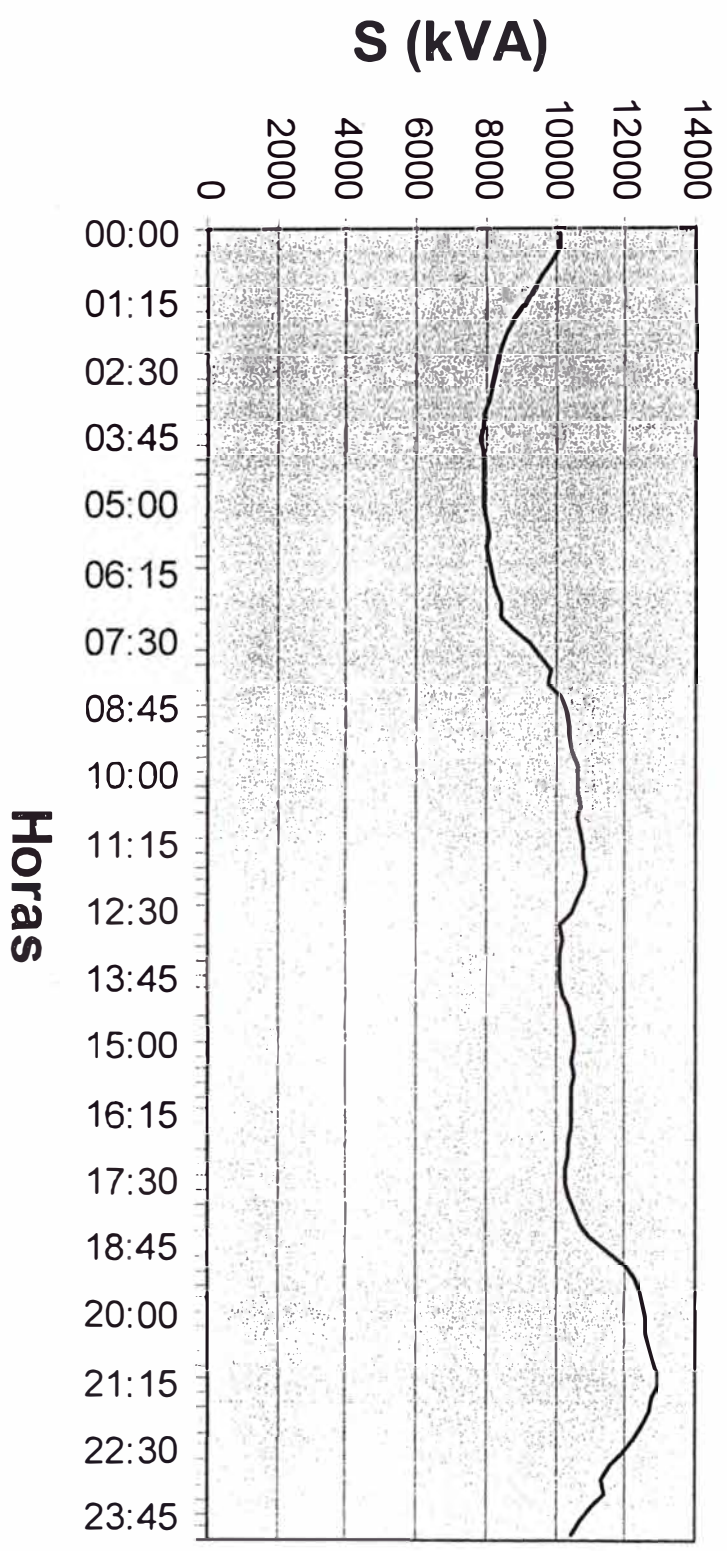


Figura Nº B.2

ANEXO C

CÁLCULO DEL COSTO OPTIMO DEL TRANSFORMADOR

CÁLCULO DEL COSTO OPTIMO DEL TRANSFORMADOR

C.1 Parámetros y variables utilizadas

D	Diámetro del Núcleo	m
H	Altura de ventana	m
A	Ancho de ventana	m
F_f	Factor de Plenitud del Fierro	-
F_c	Factor de Plenitud del Cobre	-
C_n	Coefficiente para peso del Núcleo	-
V_f	Volumen del Fierro	m^3
V_c	Volumen del Cobre	m^3
U	Tensión de fase	V
I	Intensidad de Fase	A
F	Frecuencia	Hz
B	Densidad de flujo	T
J	Densidad de Corriente	A/m^2
S_f	Sección del Núcleo	m^2
S_c	Sección del Arrollamiento	m^2
N	Número de espiras	
P	Potencia	VA
E	Solicitud específica	VA/m^4
S_c	Sección del arrollamiento	m^2
γ_f	Peso específico del Fierro	kg/m^3

γ_c	Peso específico del Cobre	kg/m ³
G_f	Peso del fierro	kg
G_c	Peso del cobre	kg
C_f	Precio del Fierro	\$/kg
C_c	Precio del Cobre	\$/kg
q_f	Pérdidas específicas en el fierro	W/kg
q_c	Pérdidas específicas en el cobre	W/kg
W_f	Valorización de pérdidas en el Fierro	\$/W
W_c	Valorización de pérdidas en el Cobre	\$/W
K_m	Costo del material	\$
K_w	Costo de las pérdidas	\$
K_t	Costo total	\$
T	Parámetros de relación de costos	-
K_p	Coefficiente de costo	-
X	Variable auxiliar (diámetro)	-
Y	Variable auxiliar (ancho de ventana)	-
Z	Variable auxiliar (costo)	-
α	Variable auxiliar X/Y	-

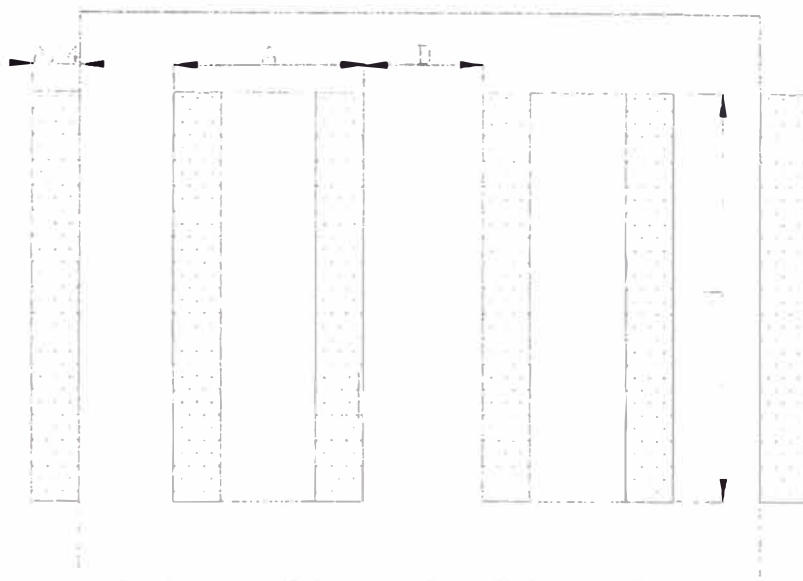


Figura N° C.1 Dimensiones del núcleo

C.2 Cálculos para obtener el costo óptimo de un transformador

Sección del Núcleo

$$S_f = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot F_f \quad (C.1)$$

Sección del arrollamiento por columna

$$S_c = \frac{1}{4} \cdot A \cdot H \cdot F_c \quad (C.2)$$

Tensión de fase

$$U = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot F \cdot N \cdot B \cdot S_f \quad (C.3)$$

Reemplazando el valor de S_f :

$$U = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot F \cdot N \cdot B \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot F_f \quad (C.4)$$

Corriente de fase:

$$I = \frac{J \cdot S_c}{N} \quad (C.5)$$

Reemplazando S_c :

$$I = \frac{J.A.H.F_c}{4N} \quad (C.6)$$

Potencia aparente

$$P = 3U.I \quad (C.7)$$

Reemplazando:

$$P = 3\sqrt{2}\pi F.N.B.\frac{\pi}{4}.D^2.F_f.\frac{J.A.H.F_c}{4N} \quad (C.8)$$

$$P = 3\sqrt{2}\frac{\pi}{4}F.J.B.\frac{\pi}{4}.D^2.F_f.A.H.F_c \quad (C.9)$$

El parámetro de sollicitación específica se define como:

$$E = 3\sqrt{2}\frac{\pi}{4}F.J.B \quad (C.10)$$

De donde se obtiene para la potencia:

$$P = E.\frac{\pi}{4}.D^2.F_f.A.H.F_c \quad (C.11)$$

El volumen del hierro y del cobre serán:

$$V_f = \frac{\pi}{4}.D^2.F_f.(3H + 4A + 6C_n.D) \quad (C.12)$$

$$V_c = 3.\left(H.\frac{A}{2}\right).F_c.\pi.\left(D + \frac{A}{2}\right) \quad (C.13)$$

Costo de la parte activa:

$$K_m = C_f.\gamma_f.V_f + C_c.\gamma_c.V_c \quad (C.14)$$

Costo de las pérdidas:

$$K_w = W_f.q_f.\gamma_f.V_f + W_c.q_c.\gamma_c.V_c \quad (C.15)$$

Costo total:

$$K_t = (C_f + W_f.q_f).\gamma_f.V_f + (C_c + W_c.q_c).\gamma_c.V_c \quad (C.16)$$

Despejando H de la expresión de la potencia:

$$H = \frac{P}{E \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot F_f \cdot A \cdot F_c} \quad (C.17)$$

Reemplazando este valor en la expresión para el volumen del hierro:

$$V_f = \frac{\pi}{4} D^2 F_f \cdot \left\{ \frac{3P}{E \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot F_f \cdot A \cdot F_c} + 4A + 6C_n \cdot D \right\} \quad (C.18)$$

$$V_f = \frac{3P}{E \cdot A \cdot F_c} + \pi \cdot A \cdot D^2 \cdot F_f + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot F_f \quad (C.19)$$

De igual forma reemplazando el valor de H en la expresión para el volumen del cobre:

$$V_c = \frac{6P}{E \cdot D^2 \cdot F_f} \cdot \left\{ D + \frac{A}{2} \right\} \quad (C.20)$$

$$V_c = \frac{6P}{E \cdot D \cdot F_f} + \frac{3P \cdot A}{E \cdot D^2 \cdot F_f} \quad (C.21)$$

Reemplazando V_f y V_c en la expresión para el costo de la parte activa:

$$K_m = \frac{3P \cdot \gamma_f \cdot C_f}{E \cdot A \cdot F_c} + \pi A \cdot D^2 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot C_f + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot F_f \cdot \gamma_f \cdot C_f + \frac{6 \cdot P \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D \cdot F_f} + \frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D^2 \cdot F_f} \quad (C.22)$$

Reemplazando V_f y V_c en la expresión para el costo de las pérdidas:

$$K_w = \frac{3P\gamma_f W_f q_f}{E.A.F_c} + \pi A.D^2 .F_f .\gamma_f .W_f .q_f + \frac{3\pi}{2} .C_n .D^3 .F_f .\gamma_f .W_f .q_f$$

$$+ \frac{6.P.\gamma_c.W_c.q_c}{E.D.F_f} + \frac{3P.A.\gamma_c.W_c.q_c}{E.D^2 .F_f} \quad (C.23)$$

Reemplazando V_f y V_c en la expresión para el costo total:

$$K_t = \frac{3P\gamma_f .(C_f + W_f .q_f)}{E.A.F_c} + \pi A.D^2 .F_f .\gamma_f .(C_f + W_f .q_f)$$

$$+ \frac{3\pi}{2} .C_n .D^3 .F_f .\gamma_f .(C_f + W_f .q_f) + \frac{6.P.\gamma_c .(C_c + W_c .q_c)}{E.D.F_f}$$

$$+ \frac{3P.A.\gamma_c .(C_c + W_c .q_c)}{E.D^2 .F_f} \quad (C.24)$$

Para simplificar las expresiones se define los parámetros de relación de costos T , y variables auxiliares X e Y , de la siguiente manera:

CASO 1: Costo de material mínimo

$$D = X \left\{ \frac{P.\gamma_c .C_c}{E.\gamma_f .C_f .F_f^2} \right\}^{1/4} \quad (C.25)$$

$$A = Y \left\{ \frac{P.\gamma_f .C_f}{E.\gamma_c .C_c .F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (C.26)$$

$$T = \left\{ \frac{\gamma_c .C_c .F_c}{\gamma_f .C_f .F_f} \right\}^{1/2} \quad (C.27)$$

Los términos de la ecuación del costo de la parte activa, haciendo los cambios de variable se obtiene:

$$\frac{3P \cdot \gamma_f \cdot C_f}{E \cdot A \cdot F_c} = \frac{3}{Y} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.28})$$

$$\pi A \cdot D^2 \cdot \gamma_f \cdot C_f \cdot F_f = \pi X^2 \cdot Y \cdot \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.29})$$

$$\frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot \gamma_f \cdot C_f \cdot F_f = \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 \cdot \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.30})$$

$$\frac{6P \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D \cdot F_f} = \frac{6T}{X} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.31})$$

$$\frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c \cdot C_c}{E \cdot D^2 \cdot F_f} = \frac{3Y}{X^2} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.32})$$

Haciendo el cambio de variable:

$$K_p = \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot C_c \cdot C_f^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.33})$$

La expresión del costo queda como sigue:

$$K_m = K_p \cdot \left\{ \frac{3}{Y} + \pi X^2 \cdot Y + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 + \frac{6T}{X} + \frac{3Y}{X^2} \right\} \quad (\text{C.34})$$

CASO 2: Costo de Pérdidas mínimo

$$D = X \cdot \left\{ \frac{P \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c}{E \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f \cdot F_f^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.35})$$

$$A = Y \cdot \left\{ \frac{P \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f}{E \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.36})$$

$$T = \left\{ \frac{\gamma_c \cdot W_c \cdot q_c \cdot F_c}{\gamma_f \cdot W_f \cdot q_f \cdot F_f} \right\}^{1/2} \quad (\text{C.37})$$

Los términos de la ecuación del costo de las pérdidas, haciendo los cambios de variable se obtiene:

$$\frac{3P \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f}{E \cdot A \cdot F_c} = \frac{3}{Y} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.38})$$

$$\pi A \cdot D^2 \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f \cdot F_f = \pi X^2 \cdot Y \cdot \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.39})$$

$$\frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot D^3 \cdot \gamma_f \cdot W_f \cdot q_f \cdot F_f = \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 \cdot \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.40})$$

$$\frac{6P \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c}{E \cdot D \cdot F_f} = \frac{6T}{X} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.41})$$

$$\frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c \cdot W_c \cdot q_c}{E \cdot D^2 \cdot F_f} = \frac{3Y}{X^2} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.42})$$

Haciendo el cambio de variable:

$$K_p = \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot W_c \cdot q_c \cdot (W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.43})$$

La expresión del costo de pérdidas queda como sigue:

$$K_w = K_p \left\{ \frac{3}{Y} + \pi \cdot X^2 \cdot Y + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 + \frac{6T}{X} + \frac{3Y}{X^2} \right\} \quad (\text{C.44})$$

CASO 3: Costo de Operación mínimo.

$$D = X \cdot \left\{ \frac{P \cdot \gamma_c \cdot (C_c + W_c \cdot q_c)}{E \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f) \cdot F_f^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.45})$$

$$A = Y \cdot \left\{ \frac{P \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f)}{E \cdot \gamma_c \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.46})$$

$$T = \left\{ \frac{\gamma_c \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) \cdot F_c}{\gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f) \cdot F_f} \right\}^{1/2} \quad (\text{C.47})$$

Los términos de la ecuación del costo total, haciendo los cambios de variable se obtiene:

$$\frac{3P \cdot \gamma_f \cdot (C_f + W_f \cdot q_f)}{E \cdot A \cdot F_c} = \frac{3}{Y} \cdot \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) \cdot (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.48})$$

$$\pi A D^2 \gamma_f (C_f + W_f \cdot q_f) F_f = \pi X^2 Y \cdot \left\{ \frac{P^3 \gamma_c \gamma_f^3 (C_c + W_c \cdot q_c) (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (\text{C.49})$$

$$\begin{aligned} \frac{3\pi}{2} C_n D^3 \gamma_f (C_f + W_f \cdot q_f) F_f &= \\ &= \frac{3\pi}{2} C_n T X^3 \left\{ \frac{P^3 \gamma_c \gamma_f^3 (C_c + W_c \cdot q_c) (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \end{aligned} \quad (C.50)$$

$$\frac{6P \cdot \gamma_c (C_c + W_c \cdot q_c)}{E \cdot D \cdot F_f} = \frac{6T}{X} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (C.51)$$

$$\frac{3P \cdot A \cdot \gamma_c (C_c + W_c \cdot q_c)}{E \cdot D^2 \cdot F_f} = \frac{3Y}{X^2} \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (C.52)$$

Haciendo el cambio de variable:

$$K_p = \left\{ \frac{P^3 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f^3 \cdot (C_c + W_c \cdot q_c) (C_f + W_f \cdot q_f)^3}{E^3 \cdot F_c^2} \right\}^{1/4} \quad (C.53)$$

La expresión del costo total queda como sigue:

$$K_t = K_p \cdot \left\{ \frac{3}{Y} + \pi \cdot X^2 \cdot Y + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 + \frac{6T}{X} + \frac{3Y}{X^2} \right\} \quad (C.54)$$

Como se puede observar las ecuaciones del costo de la parte activa, del costo de las pérdidas y del costo total son similares, por lo tanto el método de solución de las ecuaciones es la misma.

Llamemos Z a la función objetivo:

$$Z = \frac{3}{Y} + \pi X^2 \cdot Y + \frac{3\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^3 + \frac{6T}{X} + \frac{3Y}{X^2} \quad (C.55)$$

Para obtener las condiciones para el valor mínimo se deriva con respecto a X y con respecto a Y:

$$\frac{dZ}{dX} = 2\pi X \cdot Y + \frac{9\pi}{2} \cdot C_n \cdot T \cdot X^2 - \frac{6T}{X^2} - \frac{6Y}{X^3} = 0 \quad (\text{C.56})$$

$$\frac{dZ}{dY} = -\frac{3}{Y^2} + \pi X^2 + \frac{3}{X^2} = 0 \quad (\text{C.57})$$

De la expresión dZ/dX se obtiene despejando T:

$$T = \frac{Y}{X} \cdot \left\{ \frac{12 - 4\pi X^4}{9\pi \cdot C_n \cdot X^4 - 12} \right\} \quad (\text{C.58})$$

El rango para los valores de X se obtiene haciendo nulo el numerador y denominador:

Para T=0, precio de cobre mínimo, se tiene:

$$X^4 = \frac{3}{\pi} \quad (\text{C.59})$$

Para T=∞ precio de hierro mínimo se tiene:

$$X^4 = \frac{4}{3\pi \cdot C_n} \quad (\text{C.60})$$

Entonces X estará entre los valores:

$$\frac{0.8071}{C_n} < X < 0.9885 \quad (\text{C.61})$$

Para C_n=1:

$$0.8071 < X < 0.9885 \quad (\text{C.62})$$

De la expresión dZ/dY se tiene:

$$\alpha = \frac{X}{Y} = \left(1 + \frac{\pi \cdot X^4}{3}\right)^{1/2} \quad (\text{C.63})$$

Para $T=0$, precio de cobre mínimo, se tiene:

$$\alpha = \sqrt{2} \quad (\text{C.64})$$

Para $T=\infty$ precio de hierro mínimo se tiene:

$$\alpha = \sqrt{\frac{13}{9}} \quad (\text{C.65})$$

El valor de α estará entre los valores:

$$1.202 < \alpha < 01.414 \quad (\text{C.66})$$

De la expresión de α despejando X se tiene:

$$X^4 = \frac{3(1 + \alpha \cdot T)}{\pi(1 + 2.25 \cdot C_n \cdot \alpha \cdot T)} \quad (\text{C.67})$$

Entonces el problema consiste en hallar los valores de X e Y , para ello partimos calculando el valor de T según la ecuación (C.27), (C.37) ó (C.47) según sea el caso y hacemos el siguiente procedimiento:

- Se asume el valor inicial para $\alpha=1.414$
- Calculamos X^4 con la ecuación (C.67).
- Calculamos α con la ecuación (C.63).
- Se compara la diferencia entre los dos valores de α , si la diferencia no es aceptable se vuelve a recalcular X^4 , y así sucesivamente hasta obtener la diferencia deseada.

ANEXO D

RESULTADOS DEL SOFTWARE DE APLICACION

DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADOR TRIFASICO

Referencia: Informe de Suficiencia

DATOS INICIALES

Potencia	kVA =	17200
Tensión lado AT	kV =	60
Frecuencia	HZ =	60
Densidad de flujo	T =	1.78
Densidad de Corriente	A/mm ² =	4.5
Factor de plenitud del núcleo	- -	0.92
Factor de plenitud del Arrollamiento	- -	0.23
Precio del fierro	\$/kg =	5
Precio del cobre	\$/kg =	8
Pérdidas específicas en el fierro	W/kg =	2
Pérdidas específicas en el cobre	W/kg =	48.6
Valorización de pérdidas en el fierro	\$/W =	2.217
Valorización de pérdidas en el cobre	\$/W =	0.834

Criterio de cálculo: Costo de Material Mínimo

RESULTADOS

Diámetro de columna	mm =	345.55
Ancho de ventana	mm =	396.5
Altura de columna	mm =	1365.06
Peso de Fierro	kg =	5118.04
Peso de cobre	kg =	2839.15
Costo de fierro	\$ =	25590.19
Costo de cobre	\$ =	22713.19
Costo de Materiales	\$ =	48303.39
Pérdidas en el fierro	W =	10236.08
Pérdidas en el cobre	W =	137982.66
Costo de pérdidas en el fierro	\$ =	22693.38
Costo de pérdidas en el cobre	\$ =	115077.53
Costo de pérdidas	\$ =	137770.92
Costo total	\$ =	186074.31

Calculista: Aldo Meza Vilcapoma

DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADOR TRIFASICO

Referencia: Informe de Suficiencia

DATOS INICIALES

Potencia	kVA =	17200
Tensión lado AT	kV =	60
Frecuencia	HZ =	60
Densidad de flujo	T =	1.78
Densidad de Corriente	A/mm ² =	4.5
Factor de plenitud del núcleo	- -	0.92
Factor de plenitud del Arrollamiento	- -	0.23
Precio del fierro	\$/kg =	5
Precio del cobre	\$/kg =	8
Pérdidas específicas en el fierro	W/kg =	2
Pérdidas específicas en el cobre	W/kg =	48.6
Valorización de pérdidas en el fierro	\$/W =	2.217
Valorización de pérdidas en el cobre	\$/W =	0.834

Criterio de cálculo: Costo de Pérdidas Mínimo

RESULTADOS

Diámetro de columna	mm =	514.65
Ancho de ventana	mm =	253.98
Altura de columna	mm =	960.7
Peso de Fierro	kg =	10227.83
Peso de cobre	kg =	1510.2
Costo de fierro	\$ =	51139.16
Costo de cobre	\$ =	12081.58
Costo de Materiales	\$ =	63220.75
Pérdidas en el fierro	W =	20455.66
Pérdidas en el cobre	W =	73395.63
Costo de pérdidas en el fierro	\$ =	45350.21
Costo de pérdidas en el cobre	\$ =	61211.95
Costo de pérdidas	\$ =	106562.16
Costo total	\$ =	169782.91

Calculista: Aldo Meza Vilcapoma

DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADOR TRIFASICO

Referencia: Informe de Suficiencia

DATOS INICIALES

Potencia	kVA =	17200
Tensión lado AT	kV =	60
Frecuencia	HZ =	60
Densidad de flujo	T =	1.78
Densidad de Corriente	A/mm ² =	4.5
Factor de plenitud del núcleo	- -	0.92
Factor de plenitud del Arrollamiento	- -	0.23
Precio del fierro	\$/kg =	5
Precio del cobre	\$/kg =	8
Pérdidas específicas en el fierro	W/kg =	2
Pérdidas específicas en el cobre	W/kg =	48.6
Valorización de pérdidas en el fierro	\$/W =	2.217
Valorización de pérdidas en el cobre	\$/W =	0.834

Criterio de cálculo: Costo de Operación Mínimo

RESULTADOS

Diámetro de columna	mm =	450.78
Ancho de ventana	mm =	294.17
Altura de columna	mm =	1081.14
Peso de Fierro	kg =	8002.67
Peso de cobre	kg =	1834.18
Costo de fierro	\$ =	40013.37
Costo de cobre	\$ =	14673.45
Costo de Materiales	\$ =	54686.82
Pérdidas en el fierro	W =	16005.35
Pérdidas en el cobre	W =	89141.21
Costo de pérdidas en el fierro	\$ =	35483.86
Costo de pérdidas en el cobre	\$ =	74343.77
Costo de pérdidas	\$ =	109827.63
Costo total	\$ =	164514.45

Calculista: Aldo Meza Vilcapoma

BIBLIOGRAFÍA

1. Cálculo Óptimo de Transformadores, Juan Corrales Martín, Edita Universidad Politécnica de Barcelona, España 1978.
2. Curso de Diseño de Máquinas Eléctricas, UNI-FIEE, Manuel Carranza Arévalo.
3. Energy Efficient Transformers, Barry W. Kennedy, McGraw-Hill, 1998
4. Estaciones Transformadoras y de Distribución, Gaudencio Zoppetti Júdez, Ediciones G. Gili, S.A., México 1981.
5. Máquinas Eléctricas I, Ediciones Ingeniería, Perú 1990.
6. Teoría, Cálculo y Construcción de Transformadores, Juan Corrales Martín, Editorial LABOR S.A., 1945.
7. Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción, Gilberto Enriquez Harper, Segunda Edición, Editorial LIMUSA, México 1977.