



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



TRABAJO DE DIPLOMA

Balance técnico económico de los bancos de transformadores que alimentan cargas monofásicas y trifásicas simultáneamente.

Autor: Alejandro Castillo Pérez

Tutor: Dr. Leonardo Casas Fernández

Santa Clara

2015

"Año 57 de la Revolución"

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA



Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética



TRABAJO DE DIPLOMA

Balance técnico económico de los bancos de transformadores que alimentan cargas monofásicas y trifásicas simultáneamente.

Autor: Alejandro Castillo Pérez

E-mail: acperez@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Leonardo Casas Fernández

E-mail: lcasas@uclv.edu.cu

Santa Clara

2015

"Año 57 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

Pensamiento

"Aquellos que se enamoran solo de la práctica, sin cuidar de la exactitud o de la ciencia, son como el piloto que se embarca sin timón ni aguja, y nunca sabrá dónde va a parar".

Leonardo Da Vinci

Dedicatoria

A mis padres, por brindarme tanto apoyo en estos años.

A mi hermano, para que le sirva de ejemplo.

A mi abuela, tíos y tías, que tanto me han ayudado estos años.

A mis amigos de siempre y a los que compartieron conmigo los años de carrera.

Agradecimientos

- *A mis padres y en general a mi familia por su ayuda constante.*
- *Al Dr. Leonardo Casas por su guía.*
- *A todos los profesores que me formaron durante estos 5 años.*
- *En fin le doy un gran agradecimiento a todos los que de una forma u otra me ayudaron a llegar a este momento.*

Tarea Técnica

1. Comparar el comportamiento de los bancos de transformadores estrella-delta y la estrella abierta-delta abierta.
2. Valorar las pérdidas de potencia y de energía en los bancos de transformadores con conexiones estrella-delta y estrella abierta-delta abierta.
3. Cuantificar las diferencias en inversiones que se requieren para instalar bancos de transformadores con conexiones estrella-delta y estrella abierta-delta abierta.
4. Realizar los cálculos económicos de los costos de los transformadores de distribución con conexión estrella-delta y estrella abierta-delta abierta.

Firma del Autor

Firma del Tutor

Resumen

Se ha realizado un estudio comparativo de los dos tipos de bancos de transformadores que más se utilizan en las redes de distribución en Cuba con los que se alimentan cargas trifásicas y monofásicas simultáneamente, estos son la estrella-delta y la estrella abierta-delta abierta.

Los costos de instalación y los de operación de ambas conexiones se manifiestan de formas opuestas, por lo que obliga a llevar un balance del comportamiento tanto técnico como económico de estas variantes.

Estas variantes se han sometido a valoraciones técnicas con el objetivo de encontrar una razón de suficiente fuerza que permita la adopción de una de las variantes.

Los estudios se han basado en un análisis de los bancos de transformadores con gráficos de deferentes estados de cargas. Se exponen los principales resultados obtenidos.

Para las variantes estudiadas se han observado que cuando existe carga monofásica entre 5 y 50 kV.A y la carga trifásica es menor de 75 kV.A es más económico utilizar bancos estrella abierta-delta abierta, mientras que si la carga trifásica es mayor de 75 kV.A es mejor el banco estrella-delta; cuando la carga monofásica es mayor o igual a 50 kV.A es más eficiente el uso del banco estrella abierta-delta abierta.

TABLA DE CONTENIDOS

Pensamiento	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Tarea Técnica.....	iv
Resumen	v
Introducción.....	1
Problema de investigación.....	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Capítulo 1: Aspecto generales sobre los transformadores	3
1.1 Principio de funcionamiento.....	3
1.2 Transformadores de transmisión.	5
1.3 Transformadores de distribución.	6
1.4 Bancos de transformadores trifásicos.....	7
1.4.1 Relación de transformación del banco trifásico.	8
1.4.2 Grupos de conexiones.	9
1.4.3 Conexión estrella- delta	9
1.4.4 Conexión estrella abierta-delta abierta.....	10
Capítulo 2: Análisis técnico de los bancos con dos y tres transformadores.....	12
2.1 Calidad del voltaje.....	12
2.2 Crecimiento.	13

2.3 Selección de los transformadores de fuerza y de alumbrado para los diferentes tipos de cargas.....	14
2.3.1 Banco estrella-delta	14
2.3.2 Banco estrella abierta-delta abierta	17
Capítulo 3: Comparación de variantes	20
3.1 Valoración económica.	20
3.2 Cálculo de pérdidas de potencia y energía.....	22
3.3 Análisis de la selección del banco.....	22
3.4 Comparación de las variantes.....	23
Conclusiones:	27
Recomendaciones	28
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	29
Anexos	30
Anexo I: Pérdidas de energía en los bancos de transformadores con diferentes estados de cargas.....	30
Anexo II VAN para $FC = 0,71$	31
Anexo III VAN para $FC = 0,51$	38
Anexo IV Van para $FC = 0.26$	45

Introducción

A partir del año 2005 en que se inicia la Revolución Energética en el país, el ahorro de la energía eléctrica se ha convertido en una de las principales tareas técnicas que se han estado acometiendo con vistas a lograr una mayor eficiencia en todas las actividades que de una forma u otra requieren de su utilización para su ejecución, para lo cual se están usando los más diversos adelantos de la ciencia y la tecnología que incluyen la incursión en el mejoramiento de la eficiencia de las redes eléctricas.

La generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en nuestro país está centralizada en la infraestructura de Sistema Electroenergético Nacional (SEN), lo que requiere de equipos, instalaciones e instrumentos que posibiliten su realización de una forma eficiente.

Las redes de distribución pueden tener diferentes estructuras en su composición, dando lugar a que se presenten disímiles formas de construirlas y operarlas. Estas redes son las encargadas de llevar la energía eléctrica hasta todos los consumidores ya sean grandes o pequeños.

De acuerdo a las necesidades de los consumidores, estas redes pueden tener dentro de ellas bancos de transformadores de uno, dos o tres elementos. En el caso de la existencia de cargas monofásicas y trifásicas simultáneamente, los dos tipos fundamentales de conexión utilizados en Cuba son: la estrella-delta y la estrella abierta-delta abierta, aunque también existen las conexiones delta-delta y la delta abierta-delta abierta.

La utilización de una u otra conexión depende de un gran número de variables tanto técnicas como económicas, las que se estudian detalladamente en este trabajo.

Como resultado del estudio de los diversos casos analizados, se presentan recomendaciones sólidamente fundamentadas que avalan tanto la selección de

los bancos de transformadores como la potencia de cada uno de ellos para cada caso.

Se utilizaron diversas herramientas tanto de valoraciones técnicas como económicas y de computación para tales fines, como el programa Radial 10.0 y el Excel.

Problema de investigación

- ¿Cómo seleccionar la conexión más eficiente de un banco de transformadores que alimenta carga monofásica y trifásica simultáneamente?

Objetivo General

- Realizar las valoraciones técnicas y económicas de los bancos de transformadores que sirven simultáneamente cargas monofásicas y trifásicas.

Objetivos Específicos

- Determinar las pérdidas en los bancos de transformadores de los circuitos de distribución que operan con conexión estrella-delta y estrella abierta-delta abierta.
- Evaluar las inversiones que requieren para formar los bancos de transformadores para las conexiones estrella-delta y estrella abierta-delta abierta.
- Realizar una valoración integral comparativa entre ambas conexiones.

Capítulo 1: Aspecto generales sobre los transformadores

Los transformadores son una de las llaves que permiten la distribución extendida de la energía eléctrica tal como la vemos hoy. Permiten transformar la energía eléctrica de un nivel de voltaje a otro, de una forma eficiente con lo cual es posible transmitir dicha energía a grandes distancias y reducir los voltajes a valores adecuados para su uso en los lugares en que sea necesario. Su eficiencia es del orden del 98 % [1].

Esos dispositivos se componen de un núcleo de material ferromagnético sobre el cual se han enrollado varias espiras (vueltas) de alambre conductor aislado. Este conjunto de vueltas, denominadas bobinas, componen los dos devanados a los que se les conoce como primario y secundario. El primero recibe la energía a una tensión dada, V_1 , y la entrega a un voltaje V_2 por el secundario. [2]

1.1 Principio de funcionamiento [3]

La corriente del primario tiene asociado a ella un flujo magnético el cual cierra sus líneas a través del núcleo ferromagnético. Como el devanado secundario está enrollado sobre el mismo núcleo, el flujo magnético circulará a través de las espiras de éste. Al haber un flujo magnético que atraviesa las espiras del secundario se inducirá en él una tensión, **Figura 1.1**.

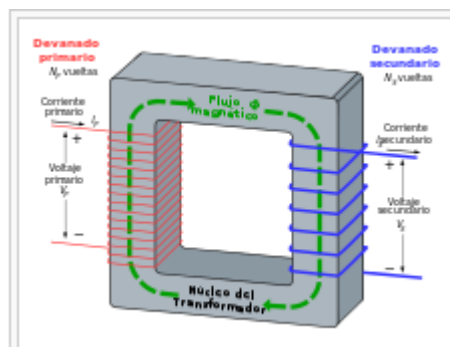


Figura 1.1: Transformador ideal.

En caso de que existiera una carga conectada al secundario, por él circularía una corriente. La razón de la transformación de tensión entre el devanado primario y el secundario depende del número de vueltas que tenga cada uno, y está dada por:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad [1.1]$$

Donde:

N_1 : Número de vueltas del devanado primario.

N_2 : Número de vueltas del devanado secundario.

V_1 : Voltaje nominal del devanado primario.

V_2 : Voltaje nominal del devanado

Entonces:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad [1.2]$$

Un transformador puede ser elevador o reductor, dependiendo del número de vueltas de cada devanado.

Si se supone que el transformador es ideal (la potencia que se le entrega es igual a la que se obtiene de él, se desprecian las pérdidas por calor y otras), la potencia de entrada (S_1) = Potencia de salida (S_2).

$$S_1 = S_2 \quad [1.3]$$

Aplicando este concepto al transformador, se deduce que la única forma de mantener la misma potencia en los dos devanados es que cuando la tensión se eleve la intensidad disminuya en la misma proporción y viceversa. Entonces:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad [1.4]$$

Siendo:

I_1 : Corriente por el devanado primario.

I_2 : Corriente por el devanado secundario.

Así, para conocer la corriente en el secundario cuando se conocen: la corriente por primario, se puede utilizar la fórmula siguiente:

$$I_2 = N_1 \cdot \frac{I_1}{N_2} \quad [1.5]$$

Los aspectos constructivos varían según determinados parámetros tales como el aislamiento, la forma del núcleo, los devanados, las fases, la potencia, el sistema de refrigeración: que pueden ser secos (tipo abierto o sellado), o en líquido (aceite mineral, líquidos de alto punto de ignición, etc.), hasta por su funcionalidad, como por ejemplo los aspectos constructivos para un transformador de distribución son completamente diferentes para los transformadores de medición.

Atendiendo a su función, los transformadores pueden clasificarse de varias formas, siendo una de las más aceptadas la que los divide en transformadores de transmisión y de distribución.

1.2 Transformadores de transmisión.

Los transformadores de transmisión, **Figura 1.2**, como lo dice su nombre son los transformadores que se utilizan para la transmisión de energía eléctrica de mayor potencia en el sistema eléctrico. Estos transformadores deben ser trifásicos ``tipo

caseta ”, sumergidos en aceite aislante mineral, para instalación interior o exterior indistintamente, servicio continuo, refrigeración natural (ONAN). Se construyen en potencia normalizada de 1.25 hasta 20 MVA, y en tensiones de 13.2, 33, 66, 132 kV y frecuencia de 50 y 60 Hz. [4]

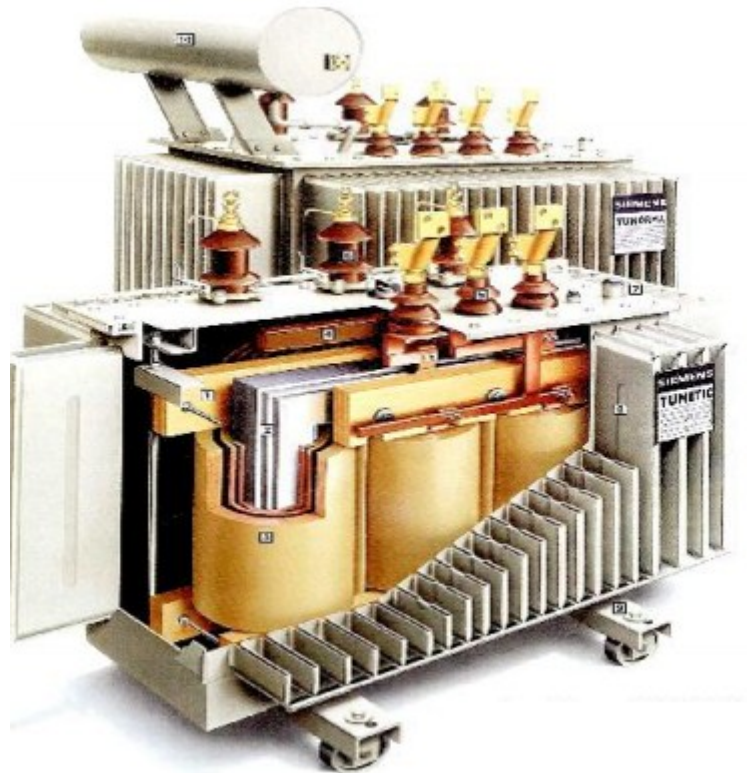


Figura 1.2: Transformador de transmisión.

1.3 Transformadores de distribución.

Los transformadores de distribución, **Figura 1.3**, son equipos que se encargan de transformar la tensión de las redes primarias en valores de utilización tanto domésticas, como comerciales y de servicios, así como de pequeñas instalaciones industriales. Las potencias de estos varían en nuestro país desde 10 kV.A hasta

los 250 kV.A. La relación completa de dichos transformadores es: 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167.5 y 250 kV.A.[5]

En Cuba, la mayoría de los transformadores de distribución son monofásicos y cuando es necesario dar un servicio trifásico se agrupan en bancos con diferentes características.

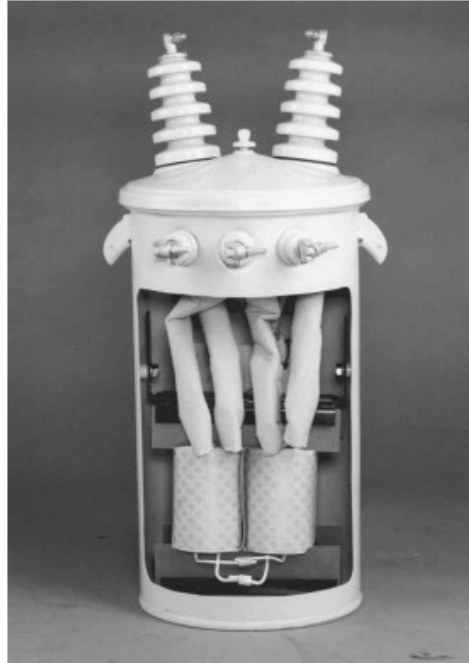


Figura 1.3: Vista de un transformador de distribución.

1.4 Bancos de transformadores trifásicos.

Todos los sistemas importantes de generación y distribución de potencia del mundo son, hoy en día, sistemas de corriente alterna trifásicos. Cuando se emplean transformadores de distribución trifásicos, la conexión es directa.

Sin embargo, en casi todo el continente americano, la gran mayoría de los transformadores de distribución son monofásicos, por lo que es necesario adecuar

sus instalaciones a esta realidad, lo que se logra mediante la conexión de los mismos en bancos de dos o tres transformadores, **Figura 1.4.**

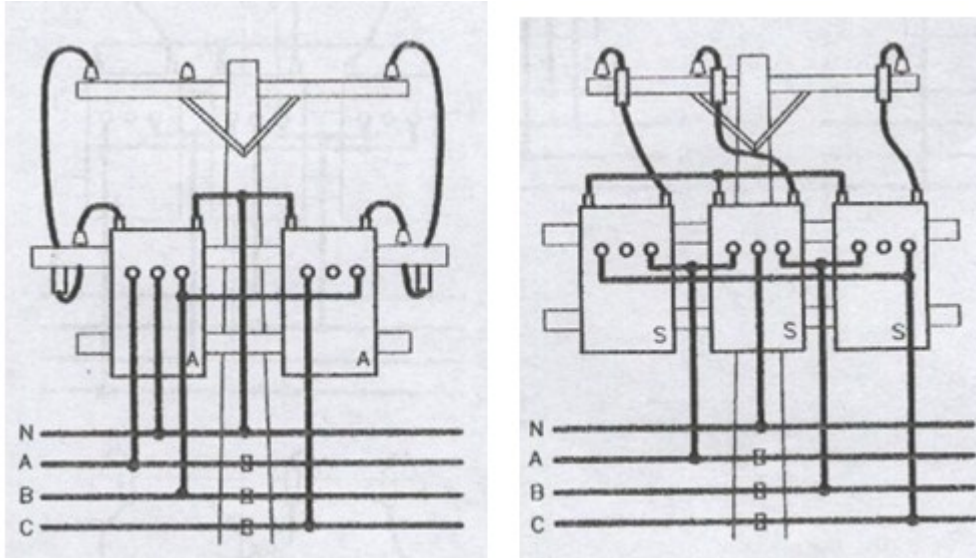


Figura 1.4: Bancos de transformadores trifásicos.

1.4.1 Relación de transformación del banco trifásico.

La relación de transformación r de un banco trifásico se define como el cociente entre dos tensiones homólogas, de fase o de línea, una de primario y otra de secundario, es decir:

$$\bar{r} = \frac{\bar{V}_{12}}{\bar{V}_{1'2'}} = \frac{\bar{V}_{2N}}{\bar{V}_{2'N'}} = \frac{\bar{V}_{32}}{\bar{V}_{3'2'}} = \dots \quad [1.6]$$

La relación de transformación depende del tipo de conexión empleada en el banco y no tiene por qué ser igual a la relación del número de espiras n de los bobinados de primario y secundario. Esta debe ser igual en los tres transformadores monofásicos del banco y se expresa de la siguiente manera:

[1.7]

$$n = \frac{\overline{V}_A}{\overline{V}_a} = \frac{\overline{V}_B}{\overline{V}_b} = \frac{\overline{V}_C}{\overline{V}_c}$$

donde $\overline{V}_A$, $\overline{V}_B$, $\overline{V}_C$ las tensiones aplicadas a los bobinados del primario y $\overline{V}_a$, $\overline{V}_b$, $\overline{V}_c$ las de los bobinados de secundario.

1.4.2 Grupos de conexiones.

Existen varios métodos para, usando transformadores monofásicos, se pueda obtener un sistema trifásico por el secundario. Las conexiones empleadas son:

- Banco estrella abierta-delta abierta
- Banco delta abierta-delta abierta
- Banco estrella-delta
- Banco delta-delta
- Banco delta-estrella
- Banco estrella-estrella

En nuestro país las conexiones que más se utilizan son la estrella-delta y la estrella abierta-delta abierta, por lo que centraremos el balance técnico-económico en estos dos tipos de conexión.

1.4.3 Conexión estrella- delta

La conexión Y- Δ se utiliza para reducir la tensión, ya que, además de la propia relación de transformación debida a las espiras, interviene el valor de la raíz de 3 para reducir la tensión del secundario, **Figura 1.5**.

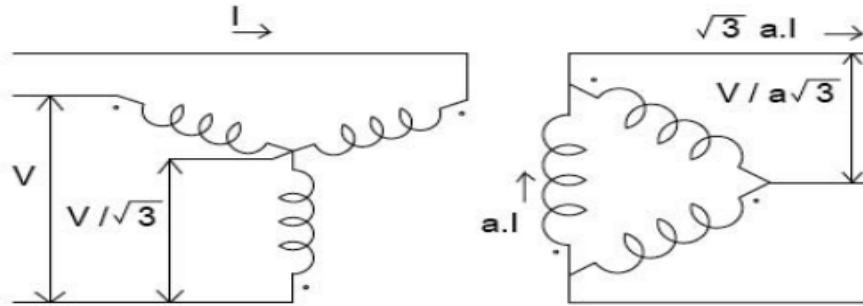


Figura 1.5: Conexión estrella-delta (Y-Δ).

La conexión estrella-delta tiene como ventaja no presentar problemas de armónicos de tensión, comportándose bien ante cargas desbalanceadas, ya que la delta redistribuye posibles desbalances.

Esta conexión tiene como inconveniente un desplazamiento de fase de 30° entre los voltajes primarios y secundarios, lo cual hay que tener en cuenta al conectar en paralelo dos bancos de transformadores [6].

1.4.4 Conexión estrella abierta-delta abierta.

La conexión estrella abierta-delta abierta, **Figura 1.6**, se usa principalmente para dar servicio a pequeños establecimientos que requieran corrientes trifásicas en una proporción menor que la carga monofásica, en esto influye también el hecho de que no se han instalado las tres fases en los postes de la línea de distribución. Así el usuario puede obtener servicio de corriente trifásica con un mínimo de inversiones.

La pérdida de capacidad con respecto al grupo trifásico total es del 42,3%, es decir, sólo puede aprovecharse un 57,7% de la potencia que suministraría el grupo trifásico al completo [7].

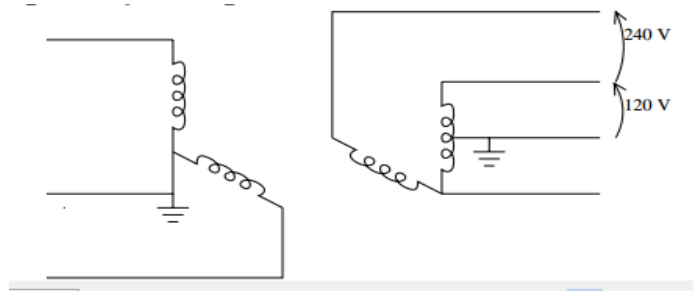


Figura 1.6: Banco estrella abierta-delta abierta.

Las breves valoraciones aquí expuestas sobre estos dos tipos bancos de transformadores no son determinantes para la selección correcta de uno de ellos, por lo que se realizará un balance técnico-económico que permita escoger cual es el más eficiente.

Capítulo 2: Análisis técnico de los bancos con dos y tres transformadores

Como ya se indicó, en nuestro país los circuitos de distribución donde exista la necesidad de alimentar carga trifásica y monofásica simultáneamente, se utilizan principalmente las conexiones estrella-delta y la estrella abierta-delta abierta.

Las valoraciones expuestas de cada conexión en el capítulo anterior no permiten la selección correcta de una de ellas. En este capítulo se presenta un estudio más detallado de las características técnicas de ambos.

2.1 Calidad del voltaje. [8]

Conexión estrella abierta- delta abierta.

En la conexión estrella abierta-delta abierta circula una corriente significativa por el neutro en los sistemas de cuatro hilos. Aun cuando la carga trifásica esté balanceada, la corriente por el neutro es mucho mayor, como se muestra en la **Figura 2.1**. Esta corriente desbalanceada causa, a su vez, un desbalance en el lado primario del banco.

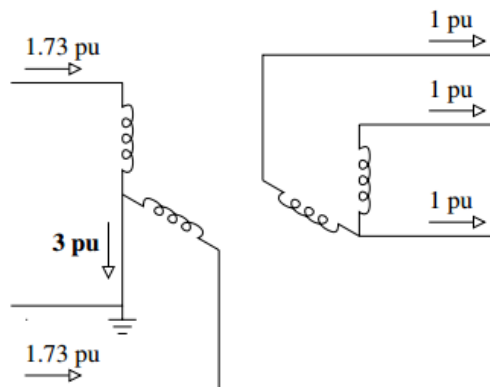


Figura 2.1: Corriente en los bancos estrella abierta-delta abierta.

Este desbalance en el lado primario ocasiona un desbalance también en el lado secundario que puede causar un calentamiento excesivo en los motores, disminuyendo este en el caso donde se usan transformadores con impedancia pequeña.

Conexión estrella-delta.

Cuando se usa la conexión estrella-delta en lugares donde la carga monofásica es grande con respecto a la trifásica existe un desbalance del voltaje en el secundario que puede ser alto. Además, en estos sistemas si se utilizan transformadores de diferentes potencias puede traer consigo un desbalance en el voltaje, algo indeseable.

2.2 Crecimiento.

Una de las ventajas del uso de los transformadores monofásicos en bancos de transformadores radica en que ante el crecimiento de la carga se puede ampliar el banco, es decir incluir un nuevo transformador al banco o cambiar por uno de mayor capacidad que el que ya existe, sin necesidad de sustituirlos a todos.

Además estos bancos conformados por transformadores monofásicos permite en el caso de la conexión estrella-delta al existir una avería de uno de sus elementos se puede cambiar por otro sin necesidad de cambiarlos a todos, o cambiar la conexión a estrella abierta-delta abierta y no se afectaría al consumidor.

2.3 Selección de los transformadores de fuerza y de alumbrado para los diferentes tipos de cargas. [9]

2.3.1 Banco estrella-delta

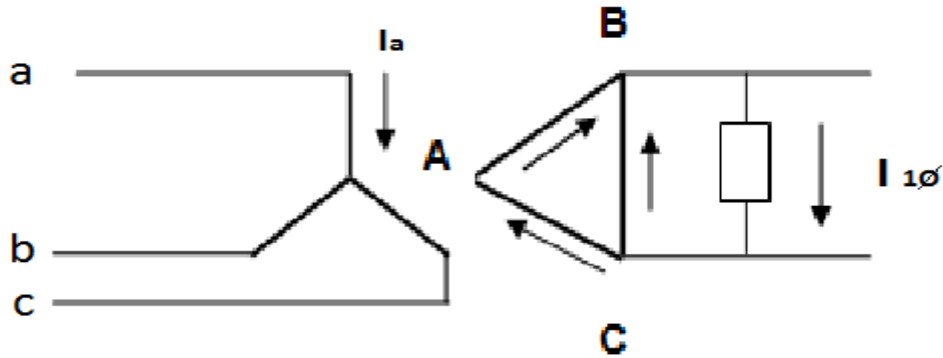


Figura 2.2 Banco estrella-delta con una carga monofásica instalada.

La distribución de las corrientes monofásicas entre los transformadores de esta conexión es la que se muestra en la **Figura 2.2**, de la cual se puede plantear

$$I_{1\phi} = I_{AB} + I_{BC} \quad [2.1]$$

como para este caso la corriente $I_{AB} = I_{CA}$ al estar los dos secundarios en serie, por el primario tiene ocurrir otro tanto, o sea que la corriente I_a se divide por igual entre los transformadores conectados a las fases **b** y **c**

$$I_{1\phi} = I_b = I_a/2 \quad [2.2]$$

Al analizar las corrientes del secundario, para que se cumpla que $I_{AB} + I_{CB}$ sea el 100 % de la carga, siendo $I_{CB} = 2 I_{AB}$, debe cumplirse que

$$I_{CB} = 2/3 I_{1\phi} \quad [2.3]$$

$$I_{AB} = 2/3 I_{1\varnothing} \quad [2.4]$$

Obsérvese que esta división de las corrientes es independiente de las capacidades de los bancos de transformadores.

El diagrama fasorial de la **Figura 2.3** muestra la distribución de las corrientes monofásicas y trifásicas combinadas, con factor de potencia unitario.

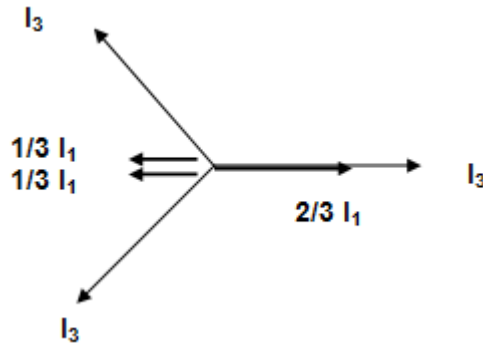


Figura 2.3: Diagrama fasorial de la distribución de la corriente monofásica y trifásica en un banco estrella-delta.

De donde se pueden obtener las conocidas expresiones de las potencias en los transformadores de fuerza y alumbrado de dicho banco.

$$TA = 2/3 S_1 + 1/3 S_3 \quad [2.5]$$

donde **TA** es la potencia del transformador de alumbrado, **S₁** es la carga monofásica y **S₃** es la carga trifásica.

$$TF = 1/3 S_1 + 1/3 S_3 \text{ desfasados 60 grados, o sea}$$

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS BANCOS CON DOS Y TRES TRANSFORMADORES

$$TF = \left(\frac{1}{3}\right) \sqrt{S_1^2 + S_3^2 + S_1 S_3} \quad [2.6]$$

donde **TF** es la potencia del transformador de fuerza.

Como se puede apreciar, existe una gran diversidad de variantes para dar un servicio combinado a cargas monofásicas y trifásicas de forma simultánea; y dentro de las mismas se seleccionan las que puedan satisfacer la demanda con los transformadores más pequeños.

Aplicando las ecuaciones 2.5 y 2.6 con las diferentes cargas monofásicas y trifásicas con igual factor de potencia, se obtienen los siguientes bancos de transformadores donde, para una carga monofásica S_1 , y otra trifásica S_3 , se muestran los transformadores de fuerza y alumbrado correspondientes, Tabla 2.1.

Por ejemplo, para $S_1 = 10 \text{ kV.A}$ y $S_3 = 25 \text{ kV.A}$, los transformadores de fuerza y alumbrado son de 10 y 15 kV.A, respectivamente.

Tabla 2.1: Bancos de transformadores para los diferentes estado de carga (TA-2xTF) para $fp=0.9$, $fp=0.87$, $fp=0.8$ y $fp=0.7$.

		$S_1 \text{ (kV.A)}$						
		5	10	25	50	100	150	200
S_3 (kV.A)	5	10-2x10	10-2x10	25-2x10	37,5-2x25	75-2x37,5	100-2x50	167,5-2x75
	10	10-2x10	10-2x10	25-2x10	37,5-2x25	75-2x37,5	100-2x50	167,5-2x75
	25	15-2x10	15-2x10	25-2x15	50-2x25	75-2x37,5	167,5-2x75	167,5-2x75
	50	25-2x25	25-2x25	37,5-2x25	50-2x37,5	100-2x50	167,5-2x75	167,5-2x75
	100	37,5-2x37,5	37,5-2x37,5	50-2x37,5	75-2x50	100-2x75	167,5-2x75	167,5-2x100
	150	50-2x50	75-2x50	75-2x50	100-2x75	167,5-2x75	167,5-2x100	167,5-2x100

2.3.2 Banco estrella abierta-delta abierta

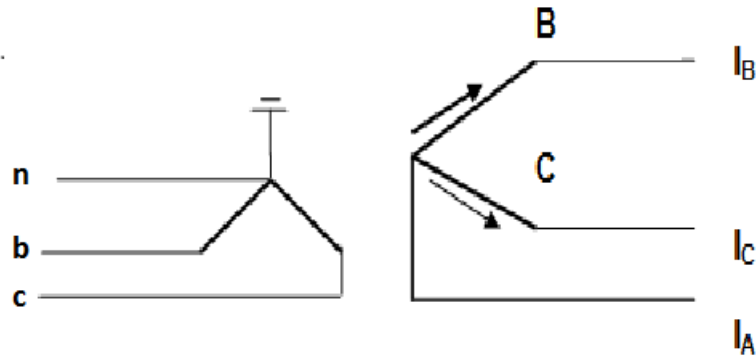


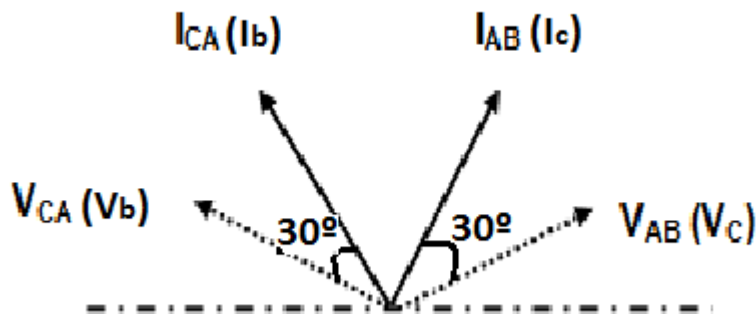
Figura 2.4 Banco estrella abierta- delta abierta

En el banco estrella abierta-delta abierta, **Figura 2.4**, se produce unas corrientes por secundario en los transformadores cuyos resultados son:

$$I_{AB} = I_B \quad [2.7]$$

$$I_{CA} = -I_C \quad [2.8]$$

Como se sabe en estos bancos dentro de los transformadores las corrientes aumentan en 1,73 veces su magnitud, además desfasándose la corriente y el voltaje con un ángulo de 30° en la **Figura 2.5**.



CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS BANCOS CON DOS Y TRES TRANSFORMADORES

Figura 2.5: Diagrama fasorial de la posición de las corrientes en el banco estrella abierta-delta abierta.

Como puede apreciarse, uno de los transformadores opera con su corriente en adelanto y el otro en atraso. La corriente por el neutro **In** en el primario es la suma de las corrientes de los dos transformadores, que para el caso que estamos analizando de carga balanceada, son iguales entre sí con un valor de:

$$I_n = \sqrt{3}I \quad [2.9]$$

donde
$$I = |I_{AB}| = |I_{CA}| \quad [2.10]$$

Generalmente las corrientes de cada transformador son diferentes, ya que uno de ellos, el transformador de alumbrado **TA**, porta la carga monofásica y la fracción correspondiente de la carga trifásica que es el 58% de la misma. En tanto que el otro, el transformador de fuerza **TF**, sólo lleva la fracción correspondiente de la carga trifásica. Obteniéndose así las dos ecuaciones siguientes:

$$\mathbf{TA} = 0.578 \mathbf{S}_3 + \mathbf{S}_1 \quad [2.11]$$

$$\mathbf{TF} = 0.578 \mathbf{S}_3 \quad [2.12]$$

De igual forma que en el caso anterior, aplicando las ecuaciones 2.11 y 2.12 con diferentes cargas monofásicas y trifásicas se confecciona la Tabla 2.2.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS BANCOS CON DOS Y TRES TRANSFORMADORES

Tabla 2.2: Bancos de transformadores para los diferentes estado de carga (**TA-TF**) para $fp=0.9$, $fp=0.87$, $fp=0.8$ y $fp=0.7$.

		S₁ (kV.A)						
		5	10	25	50	100	150	200
S₃ (kV.A)	5	10-10	15-10	37,5-10	50-10	100-10	167,5-10	250-10
	10	10-10	15-10	37,5-10	50-10	100-10	167,5-10	250-10
	25	25-15	25-15	37,5-15	75-15	167,5-15	167,5-15	250-15
	50	37,5-37,5	37,5-37,5	50-37,5	75-37,5	167,5-37,5	167,5-37,5	250-37,5
	100	75-75	75-75	100-75	100-75	167,5-75	250-75	250-75
	150	100-100	100-100	100-100	167,5-100	250-100	250-100	250-100

Capítulo 3: Comparación de variantes

Tras haber llevado a cabo un análisis técnico sobre los principales aspectos del problema planteado, resulta necesaria la valoración económica de las variantes, ya que para todos es conocido que para una solución de un problema dado es imprescindible tener tanto la valoración técnica como la económica de este, y el estudio que se realiza no es la excepción.

3.1 Valoración económica.

La estrategia general para valorar las dos variantes consta de los pasos siguientes:

- Análisis de los bancos de transformadores estrella-delta y estrella abierta-delta abierta con el programa RADIAL 10.0. De aquí se obtienen los datos técnicos de operación de los mismos: pérdidas de potencia y energía para los diferentes estados de carga.
- Contabilizar las inversiones necesarias como son los costos de los transformadores y de los accesorios, **Tablas 3.1 y 3.2**, necesarios para su montaje.[5]
- Con los datos de los costos de los elementos y demás variables se realiza la valoración económica de las dos variantes.

CAPÍTULO 3. COMPARACIÓN DE VARIANTES

Tabla 3.1: Costos de los transformadores monofásicos [5]

Transformador	Mn	CUC
10/7620/120/240	1 190,68	730,75
15/7620/120/240	1 351,66	824,67
25/7620/120/240	1 630,89	984,45
37,5/7620/120/240	2 135,00	1 302,55
50/7620/120/240	2 617,66	1 708,14
75/7620/120/240	3 578,56	2 656,49
100/7620/120/240	4 118,21	3 140,40
167,5/7620/120/240	6 474,94	5 236,54
250/7620/120/240	7 510,00	4 506,00

Tabla 3.2: Costo de los accesorios necesarios para el montaje de un transformador.

Cantidad	Nombre	UM	Precio	
			MN	CUC
7	Cable 2/0 THW 150 m	m	1,63	4,36
1	Conductor Cu #2 HD AWG	kg	10,09	1,51
3	Conductor Cu #4 HD AWG	kg	9,93	1,92
1	Conector tipo cuña con estribo PT40	U	8,42	7,36
1	Conector AMPACT 600411-0	U	4,15	0
1	Cruceta de angular acero 4 gc	U	6,93	7,97
1	Drop-out 15 kV, 100 Amp. 10 kA	U	5,7	42,75
1	Pararrayo 12 kV, oxido zinc	U	2,36	18,05
1	Tirante plano 32''	U	0,8	2,03
4	Tornillo Máq. Gdv. 1/2x1 1/2	U	0,02	0,3
1	Tornillo Máq. Gdv. 1/2x12	U	0,11	0,89
3	Tornillo Máq. Gdv. 5/8x12	U	0,73	1,8
1	Varilla de tierra 5/8''x6	U	2,37	17,7
1	Grampa p/conexión en caliente	U	8,41	0
Total			61,65	106,64

La valoración económica se realiza utilizando los métodos del Valor Actual Neto (VAN), o sea contabilizando todos los gastos en el primer año del proyecto, más las pérdidas de energía en los cinco años en los que se evalúa el proyecto, con un costo de la energía en CUP de 0.06625 \$/kW.h. Los pasos seguidos son los siguientes:

1. Determinar el valor de las pérdidas de **potencia** y **energía** para cada año **i** mediante la expresión:

$$\text{Pérd}_i = \text{Pérd}_0 (1 + cr)^{2i} \quad [3.1]$$

2. Calcular el valor monetario de las pérdidas de **potencia** y **energía** para el año **i** mediante:

$$\text{Costo}_i = \text{Pérd}_i * \text{Ce} \quad [3.2]$$

3. Calcular el Valor Actual Neto, considerando la tasa de descuento **k**, mediante la expresión:

$$\text{VAN} = \text{Inv}_0 + \sum (\text{Costo}_i / (1+k)^i) \quad [3.3]$$

3.2 Cálculo de pérdidas de potencia y energía.

Para un mejor aprovechamiento y fiabilidad en la utilización del software Radial 10.0 se analizaron los bancos de transformadores con varios gráficos de cargas donde los factores de cargas **Fc** son iguales a 0.71, 0.51 y 0.26. Este sistema permite determinar las pérdidas de energía diarias, las que se extrapolan a un año. **(Ver anexo I)**

3.3 Análisis de la selección del banco.

Existe un gran sinfín de variantes para alimentar de forma combinada una carga monofásica con una trifásica, para saber cuál es la más eficiente se realizó el siguiente análisis:

Para una misma carga monofásica y trifásica (S_1 y S_3) aplicando las ecuaciones 2.11 y 2.12 se obtiene el banco de transformadores correspondiente y además los superiores a este, que pudieran tener un VAN menor en función de los datos de los costos.

Con las corridas del RADIAL 10.0 se obtienen las pérdidas de energía, y a partir de estos resultados y de los costos de inversión, **Tablas 3.1 y 3.2**, se calcula el Valor Actual Neto (VAN) para de esta forma determinar la variante de mínimo VAN, El caso que se ilustra en las **Tablas 3.3, 3.4 y 3.5** corresponden a un $F_c = 0.71$. En el **Anexo III y IV** están los cálculos para $F_c = 0.26$ y 0.51 .

Tabla 3.3: Análisis del Valor Actual Neto (VAN) para los diferente bancos.

TA--TF (kV.A)	ΔP (kW)	ΔE (kW.h/día)	Costo Transf. (CUP)	VAN
25--15	0,573	10,52	2 982,55	4 155
37.5--25	0,498	9,58	3 765,89	4 767
50--37.5	0,457	9,42	4 752,66	5 739
75--50	0,543	11,97	6 196,22	7 417

Dado que pudiera darse el caso de que bancos de mayor potencia pudieran tener valores de VAN menores (lo que dependería de los valores de los costos de los transformadores y de la energía) se hizo una verificación de esto con los resultados que se muestran en la **Figura 3.1**, lo que indica que siempre el banco de menor inversión sería el de menor VAN.

3.4 Comparación de las variantes.

En las **Tabla 3.4 y 3.5**, se muestra una comparación entre los dos bancos de transformadores al tomar una carga monofásica de 5 kV.A y una trifásica que varía desde 5 hasta 150 kV.A.

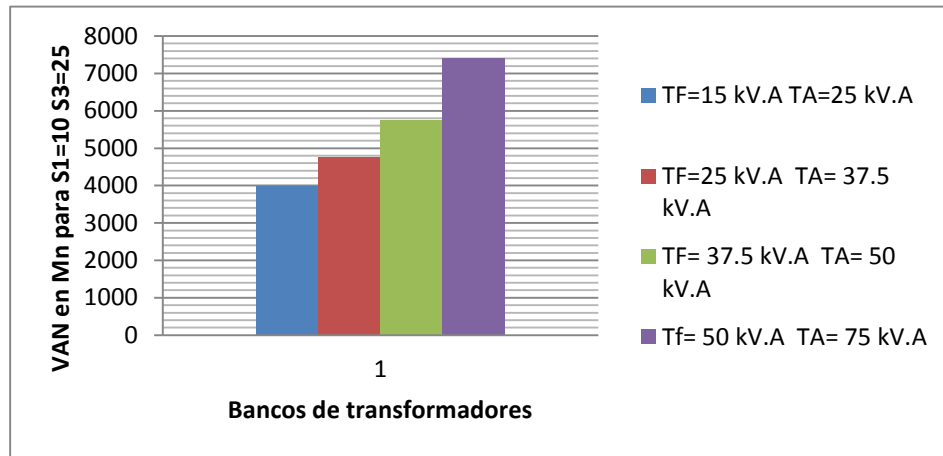


Figura 3.1: VAN en los diferentes bancos de transformadores

Tabla 3.4: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 5$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 5$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	1190,7 (10)*	1190,7 (10)	123,3	2504,7	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2861	4216
$S_3=10$	1190,7 (10)	1190,7 (10)	123,3	2504,7	5	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	6	2968	4279
$S_3=25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	10	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	9	3999	4773
$S_3=50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	14	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	16	5705	6587
$S_3=100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	26	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	25	9649	8848
$S_3=150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	35	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8037,9	35	11551	11232

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

Tabla 3.4: Cálculo del VAN para una carga con $S_1=50$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 50$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3=5$	2617,7 (50)*	1190,7 (10)	123,3	3931,6	13	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	20	5164	7369
$S_3=10$	2617,7 (50)	1190,7 (10)	123,3	3931,6	14	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	20	5256	7457
$S_3=25$	3578,6 (75)	1351,7 (15)	123,3	5053,6	17	2617,7 (50)	2x1630,9 (2x25)	185,0	6064,4	22	6638	8125
$S_3=50$	3578,6 (75)	2135,0 (37.5)	123,3	5836,9	23	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	25	7916	9363
$S_3=100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	33	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	34	10816	12093
$S_3=150$	6474,9 (167.5)	4118,2 (100)	123,3	10716,5	37	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	42	14118	15343

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

Los mismos resultados generales se muestran en forma gráfica en las **Figuras 3.2 y 3.3**. Mayores detalles se pueden ver en el **Anexo II**, donde la carga monofásica cubre una gama de valores más amplio.

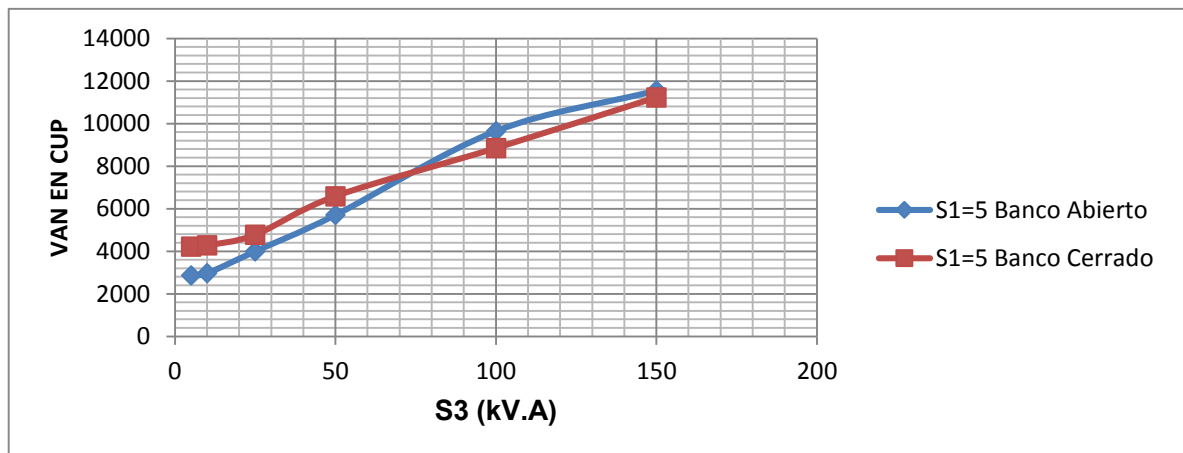


Figura 3.2: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 5$ kV.A y S_3 variable.

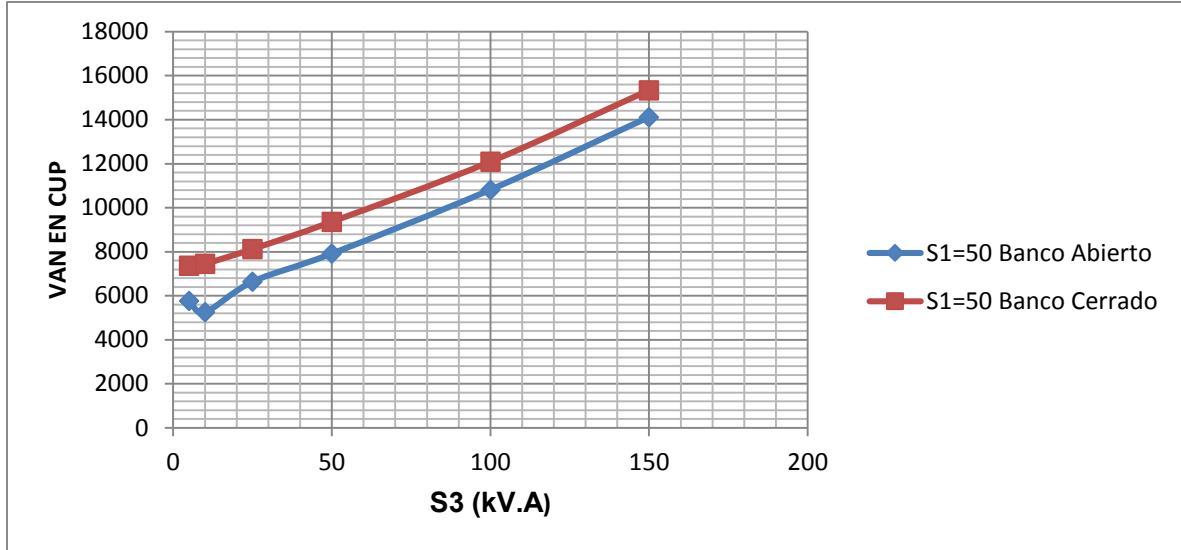


Figura 3.3: VAN para banco abierto y cerrado donde $S_1 = 50$ kV.A y S_3 variable.

En la Tabla 3.4 y en la Figura 3.2 se aprecia que cuando la carga monofásica es relativamente pequeña, es decir donde $S_1 = 5, 10, 25$ kV.A, al banco más económico a utilizar cambia de la estrella abierta delta abierta al de estrella delta.

Para estas cargas, como se puede apreciar en la **Figura 3.2**, es más económico utilizar la conexión estrella abierta-delta abierta mientras la carga trifásica S_3 sea menor de 75 kV.A. A partir de los 75 kV.A de carga trifásica S_3 es más eficiente la utilización de los bancos estrella-delta.

Mientras que en los gráficos donde la carga monofásica S_1 es mayor, **Figura 3.3**, es decir de 50 kV.A en adelante siempre es más eficiente la utilización de los bancos estrella abierta-delta abierta en vez de la conexión estrella-delta.

Conclusiones:

1. Las pérdidas de potencia y energía asociadas a los bancos de transformadores de ambas variantes no son significativamente diferentes, aunque se puede apreciar que en los bancos estrella abierta-delta abierta son ligeramente menores que con respecto al banco estrella-delta.
2. Las valoraciones económicas de ambas variantes muestran que cuando la carga monofásica está entre los 5 y 50 kV.A y la trifásica por debajo de los 75 kV.A, es más económico utilizar el banco estrella abierta-delta abierta. A partir de 75 kV.A de carga trifásica es más económico el uso del banco estrella-delta. Esta conclusión es válida para todos los factores de carga y factores de potencia que se analizaron.
3. Para cargas monofásicas mayores o igual a 50 kV.A sin importar la carga trifásica es más eficiente el uso del banco estrella abierta-delta abierta.
4. Es importante tener en cuenta que, como todo estudio económico, los resultados están muy influenciados por los costos de los elementos que intervienen en el proceso de cálculo. Como regla general la proporción en que verían tienden a una cierta uniformidad que hace que los resultados puedan considerarse confiables. La Figura 3.1 avala la afirmación anterior.

Recomendaciones

Tomando en cuenta que en un futuro no cercano no se aprecia una reducción del costo de la energía eléctrica, y en base a los resultados obtenidos en este Trabajo de Diploma, se recomienda la implementación en circuitos de pruebas para la evaluación de ambas variantes; además se exhorta realizar el mismo análisis en otros tipos de conexiones.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- [1] Pansini, Anthony J (2007). *Electrical Distribution Engineering*. Tercera Edición. The Fairmont Press, Inc. Taylor & Francis Group USA.
- [2] NAVFAC, (1990). *Electric Power Distribution Systems Operations*. Naval Facilities Engineering Command. Virginia. USA
- [3] Grainger, J y Stevenson, W (1996). *Análisis de sistemas de potencias*. McGraw-Hill, Inc. INTERAMERICANA DE MÉXICO.
- [4] IEC, (1993). IEC 76: Transformador de Potencia.
- [5] Resolución No. 385/2013. Unión Eléctrica (UNE). Cuba. 27 de diciembre del 2013.
- [6] Grupo de conexiones.
- <http://www.schneider-electric.com/resource/sites/content/live/>
- [7] Montaje de bancos de transformadores conexión estrella abierta-delta abierta.
- https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_2/Normas_de_13.2_kV/NormaRA2-027Final.pdf
- [8] Short T. A. (2006). *Electric Power Distribution Equipment and Systems*. EPRI Solutions, Inc. Schenectady, NY. Taylor & Francis Group USA.
- [9] Casas Fernández, L. Desbalance introducido por los bancos de transformadores. Conferencia de la especialidad de Eléctrica. UCLV, Cuba. 11pp

Anexos

Anexo I: Pérdidas de energía en los bancos de transformadores con diferentes estados de cargas.

Pérdidas de Energía (kW.h/día)		Conexión estrella-delta							Conexión estrella abierta-delta abierta						
		S ₁ kV.A)							S ₁ (kV.A)						
		5	10	25	50	100	150	200	5	10	25	50	100	150	200
S₃ (kV.A) a Fc= 0,71	5	5	6	12	20	32	46	53	4	5	8	13	24	31	58
	10	6	7	13	20	33	46	54	5	7	9	14	25	33	59
	25	9	11	16	22	36	42	56	10	11	13	17	22	34	59
	50	16	18	21	25	36	46	61	14	16	18	23	26	36	63
	100	25	26	29	34	46	54	65	26	27	28	33	36	58	78
	150	35	36	39	42	51	60	76	35	36	39	37	55	73	95
S₃ (kV.A) a Fc=0,51	5	5	5	9	15	23	31	38	3	4	7	10	16	19	32
	10	5	6	10	16	24	31	38	4	5	7	10	17	20	33
	25	7	8	12	17	25	32	40	8	8	10	13	16	21	36
	50	12	13	16	18	26	34	42	11	12	13	17	20	25	40
	100	18	19	21	25	34	39	45	20	21	21	24	27	40	51
	150	24	26	28	32	37	42	51	25	26	28	28	38	48	60
S₃ (kV.A) a Fc=0,26	5	4	5	7	12	16	19	26	3	4	5	7	11	13	18
	10	5	5	7	12	16	20	26	3	4	6	7	11	13	18
	25	5	6	8	12	17	25	27	6	6	6	10	12	14	18
	50	8	9	12	13	18	22	27	8	8	9	12	14	15	20
	100	13	13	14	17	24	26	29	15	15	16	16	18	22	25
	150	15	18	18	24	26	28	30	17	17	18	19	22	24	27

Anexo II VAN para $F_c = 0,71$.

Tabla AII.1: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 5$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 5$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	1190,7 (10)*	1190,7 (10)	123,3	2504,7	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2861	4216
$S_3 = 10$	1190,7 (10)	1190,7 (10)	123,3	2504,7	5	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	6	2968	4279
$S_3 = 25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	10	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	9	3999	4773
$S_3 = 50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	14	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	16	5705	6587
$S_3 = 100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	26	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	25	9649	8848
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	35	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8037,9	35	11551	11232

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

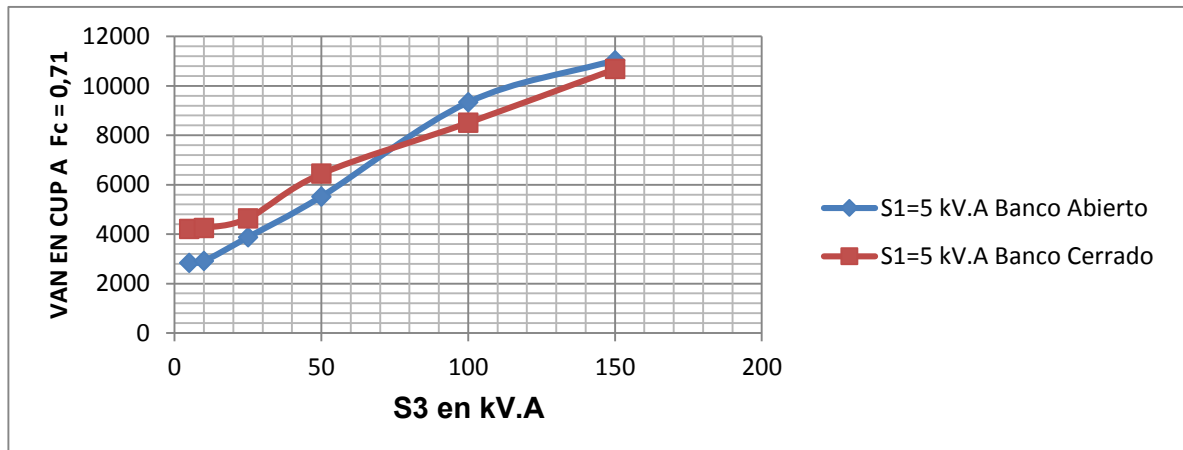


Figura AII.1: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 5$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AII.2: Valor del VAN para una carga con $S_1=10$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 10$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día	Transf. Alumb	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	1351,7 (15)*	1190,7 (10)	123,3	2665,6	5	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	6	3169	4321
$S_3=10$	1351,7 (15)	1190,7 (10)	123,3	2665,6	7	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	7	3286	4409
$S_3=25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	11	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	11	4155	4709
$S_3=50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	16	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	18	5859	6748
$S_3=100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	27	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	26	9766	8985
$S_3=150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	36	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x75)	185,0	8037,9	36	11682	11297

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

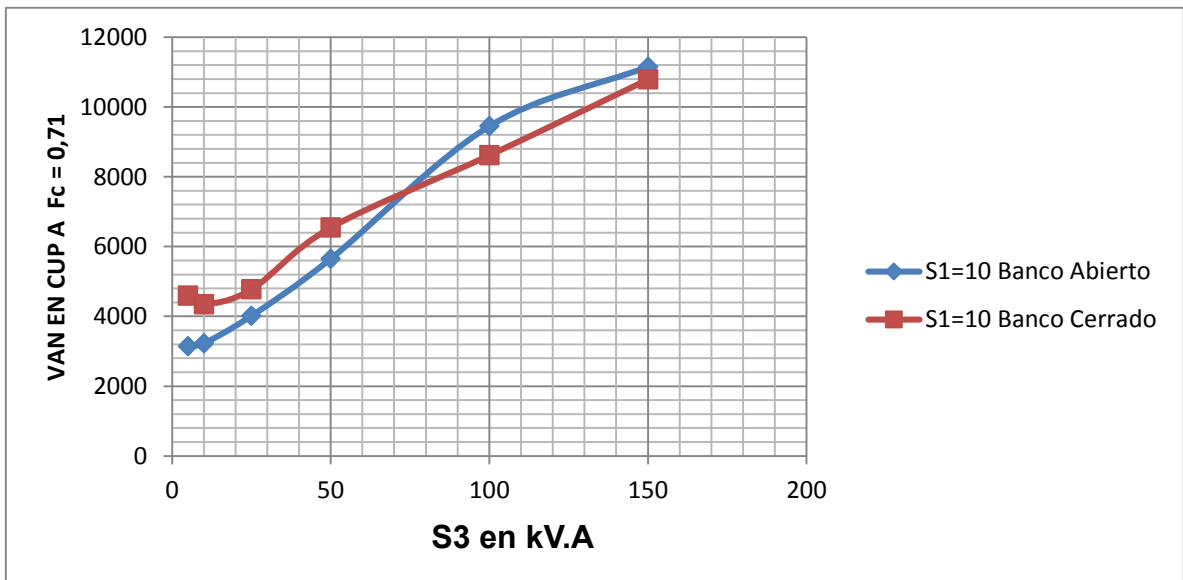


Figura AII.2: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 10$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AII.3: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 25$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 25$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	2135,0 (37.5)*	1190,7 (10)	123,3	3449,0	8	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4197,3	11	4176	5253
$S_3 = 10$	2135,0 (37.5)	1190,7 (10)	123,3	3449,0	9	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4119,3	13	4262	5359
$S_3 = 25$	2135,0 (37.5)	1351,7 (15)	123,3	3610,0	13	1630,9 (25)	2x1351,7 (2x15)	185,0	4519,2	16	4776	5988
$S_3 = 50$	2617,7 (50)	2135,0 (37.5)	123,3	4876,0	18	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	21	6510	7499
$S_3 = 100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	28	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	30	10346	9764
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	39	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	39	11326	12614

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

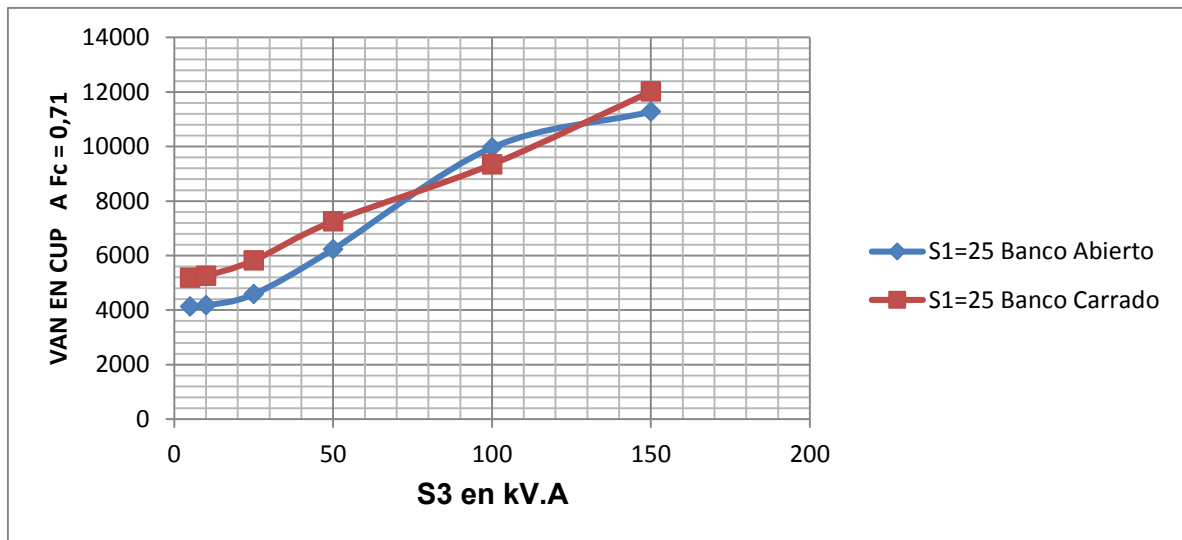


Figura AII.3: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 25$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AII.4: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 50$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 50$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3=5$	2617,7 (50)*	1190,7 (10)	123,3	3931,6	13	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	20	5164	7369
$S_3=10$	2617,7 (50)	1190,7 (10)	123,3	3931,6	14	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	20	5256	7457
$S_3=25$	3578,6 (75)	1351,7 (15)	123,3	5053,6	17	2617,7 (50)	2x1630,9 (2x25)	185,0	6064,4	22	6638	8125
$S_3=50$	3578,6 (75)	2135,0 (37.5)	123,3	5836,9	23	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	25	7916	9363
$S_3=100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	33	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	34	10816	12093
$S_3=150$	6474,9 (167.5)	4118,2 (100)	123,3	10716,5	37	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	42	14118	15343

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

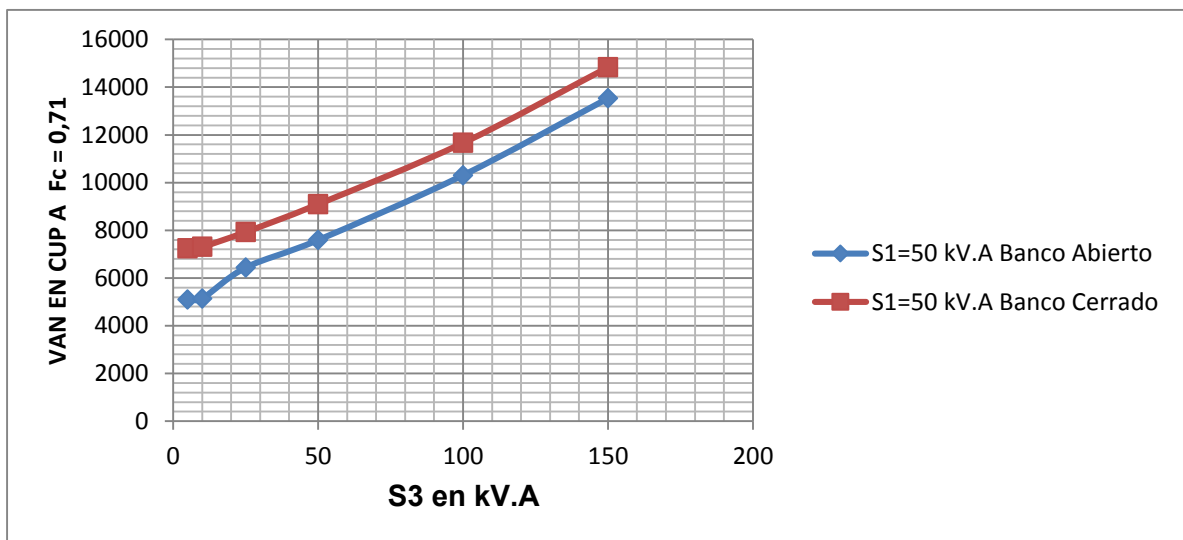


Figura AII.4: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 50$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AII.5: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 100$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta						Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)					Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)					Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Energía kW.h/día	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		
$S_1=100$ (CUP)													
$S_3 = 5$	4118,2 (100)*	1190,7 (10)	123,3	5432,2	24		3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	32	7640	10981
$S_3=10$	4118,2 (100)	1190,7 (10)	123,3	5432,2	25		3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	33	7698	11047
$S_3=25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7949,9	22		3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	36	9981	11336
$S_3=50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	26		4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	36	11106	12856
$S_3=100$	6474,9 (167.5)	3578,6 (75)	123,3	10176,8	36		4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	46	13504	16573
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	55		6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	51	16789	18448

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

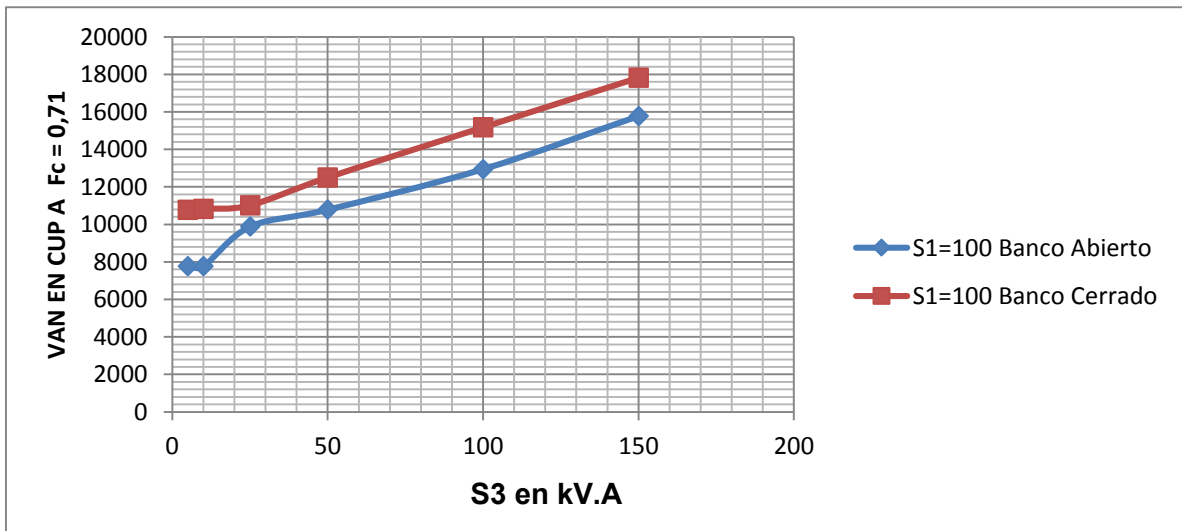


Figura AII.5: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 100$ kV.A y S_3 variable.

Tabla All.6: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 150$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_1=150$ (CUP)					Energía kW.h/día					Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	6474,9 (167.5)*	1190,7 (10)	123,3	7788,9	31	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	46	10669	13740
$S_3=10$	6474,9 (167.5)	1190,7 (10)	123,3	7788,9	33	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	46	10800	13784
$S_3=25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7788,9	34	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	42	11027	17661
$S_3=50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	36	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	46	12064	18000
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	58	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	54	16534	18794
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	73	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	60	18406	20362

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

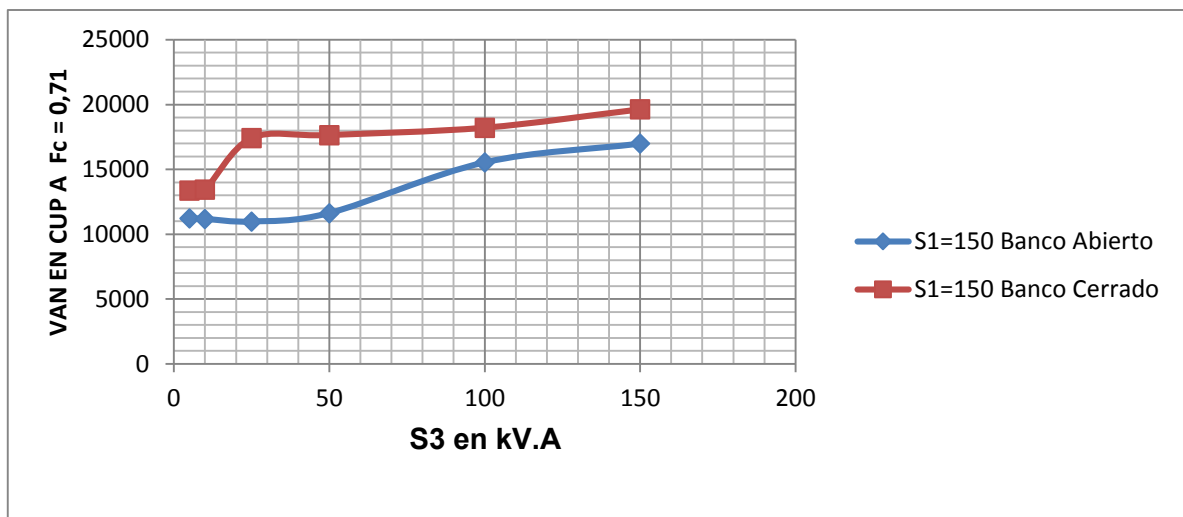


Figura All.6: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 150$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AII.7: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 200$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta						Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)					Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		
$S_1=200$ (CUP)													
$S_3 = 5$	7510,0 (250)*	1190,7 (10)	123,3	8824,0	58		6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	53	14153	18693
$S_3=10$	7510,0 (250)	1190,7 (10)	123,3	8824,0	59		6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	54	14234	18770
$S_3=25$	7510,0 (250)	1351,7 (15)	123,3	8985,0	59		6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	54	14429	18959
$S_3=50$	7510,0 (250)	2135,0 (37.5)	123,3	9768,3	63		6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	61	15534	19386
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	78		6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	65	18369	20836
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	95		6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	76	20436	21853

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

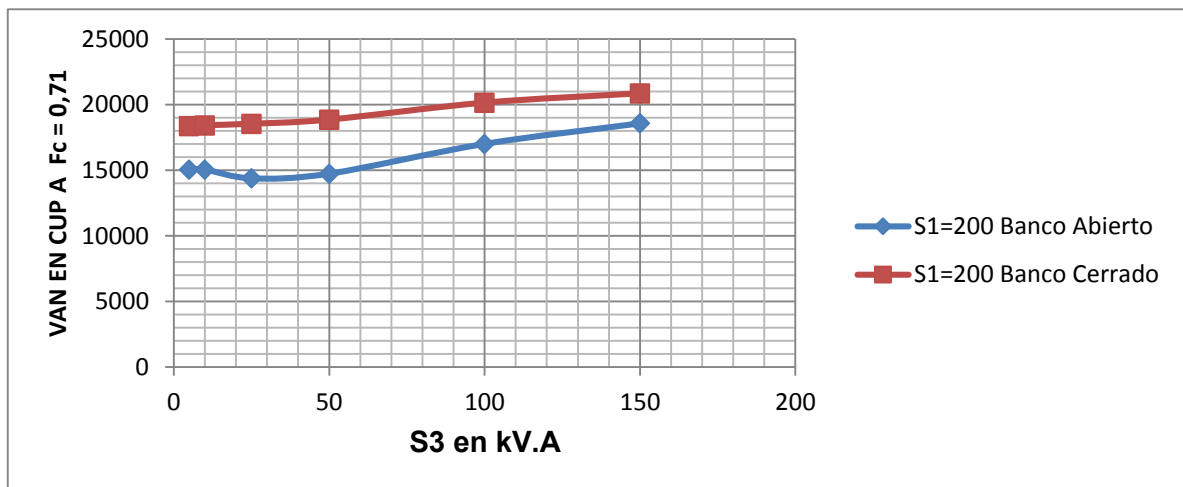


Figura AII.7: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 200$ kV.A y S_3 variable.

Anexo III VAN para $F_c = 0,51$.

Tabla AIII.1: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 5$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 5$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Energía kW.h/día	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	1190,7 (10)*	1190,7 (10)	123,3	2504,7	3	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2820	4186
$S_3 = 10$	1190,7 (10)	1190,7 (10)	123,3	2504,7	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2879	4219
$S_3 = 25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	8	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	7	3812	4559
$S_3 = 50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	11	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	12	5406	6191
$S_3 = 100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	20	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	18	9124	8257
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	25	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8037,9	24	10684	10267

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

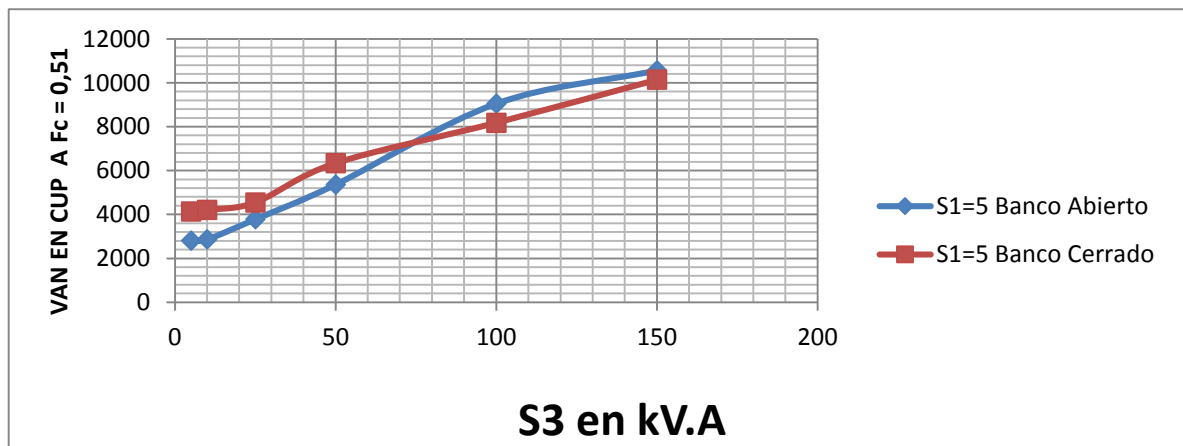


Figura AIII.1: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 5$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.2: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 10$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 10$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Energía kW.h/día	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	1351,7 (15)*	1190,7 (10)	123,3	2665,6	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	3069	4240
$S_3 = 10$	1351,7 (15)	1190,7 (10)	123,3	2665,6	5	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	6	3129	4288
$S_3 = 25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	8	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	8	3883	4649
$S_3 = 50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	12	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	13	5476	6277
$S_3 = 100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	21	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	19	9175	8331
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	26	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x75)	185,0	8037,9	26	10743	10415

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

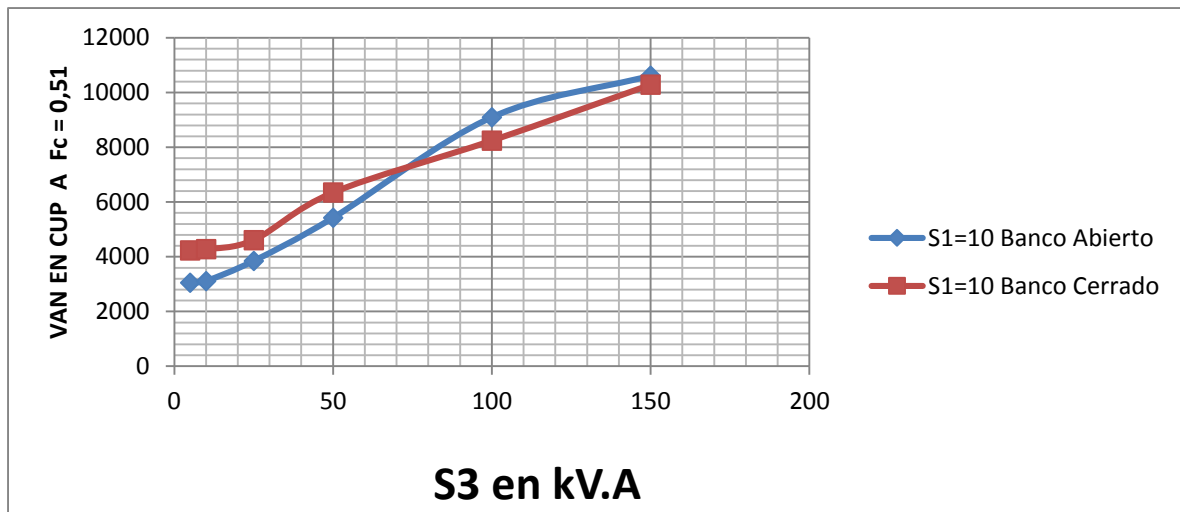


Figura AIII.2: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 10$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.3: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 25$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 25$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	2135,0 (37.5)*	1190,7 (10)	123,3	3449,0	7	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4197,3	9	4053	5019
$S_3=10$	2135,0 (37.5)	1190,7 (10)	123,3	3449,0	7	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4119,3	10	4102	5079
$S_3=25$	2135,0 (37.5)	1351,7 (15)	123,3	3610,0	10	1630,9 (25)	2x1351,7 (2x15)	185,0	4519,2	12	4482	5604
$S_3=50$	2617,7 (50)	2135,0 (37.5)	123,3	4876,0	13	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	16	6094	7044
$S_3=100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	21	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	21	9781	8990
$S_3=150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	28	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	28	10920	11566

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

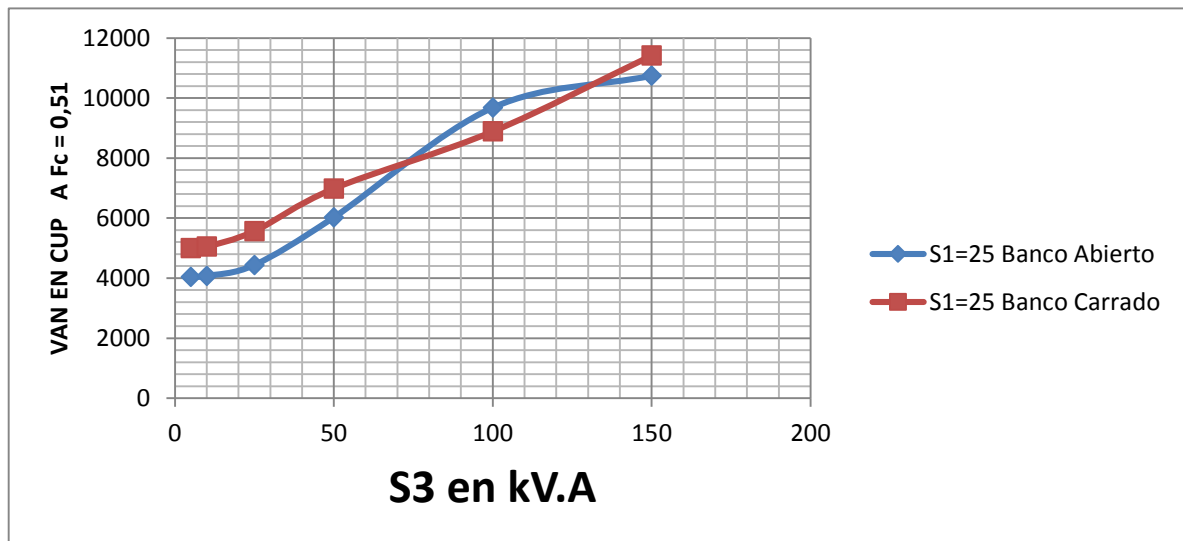


Figura AIII.3: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 25$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.4: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 50$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 50$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3=5$	2617,7 (50)*	1190,7 (10)	123,3	3931,6	10	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	15	4817	6959
$S_3=10$	2617,7 (50)	1190,7 (10)	123,3	3931,6	10	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	16	4872	7007
$S_3=25$	3578,6 (75)	1351,7 (15)	123,3	5053,6	13	2617,7 (50)	2x1630,9 (2x25)	185,0	6064,4	17	6276	7612
$S_3=50$	3578,6 (75)	2135,0 (37.5)	123,3	5836,9	17	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	18	7413	8768
$S_3=100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	24	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	25	10048	11281
$S_3=150$	6474,9 (167.5)	4118,2 (100)	123,3	10716,5	28	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	32	13238	14412

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

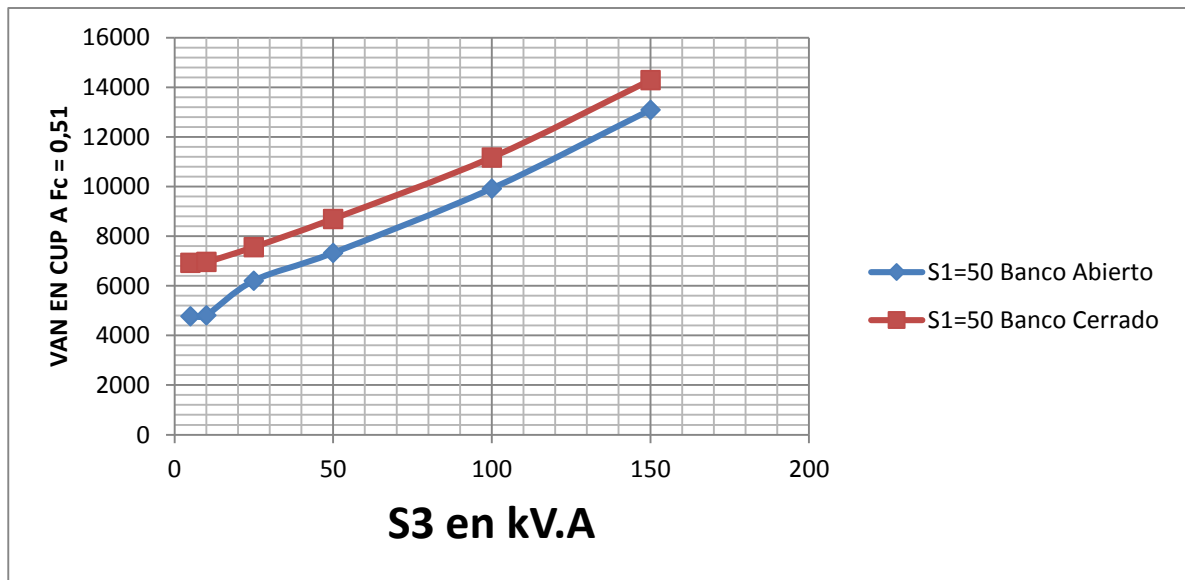


Figura AIII.4: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 50$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.5: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 100$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_1=100$ (CUP)					Energía kW.h/día					Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	4118,2 (100)*	1190,7 (10)	123,3	5432,2	16	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	23	6903	10164
$S_3=10$	4118,2 (100)	1190,7 (10)	123,3	5432,2	17	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	24	6945	10200
$S_3=25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7949,9	16	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	25	9450	10353
$S_3=50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	20	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	26	10538	11940
$S_3=100$	6474,9 (167.5)	3578,6 (75)	123,3	10176,8	27	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	34	12643	14572
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	38	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	37	15234	17221

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

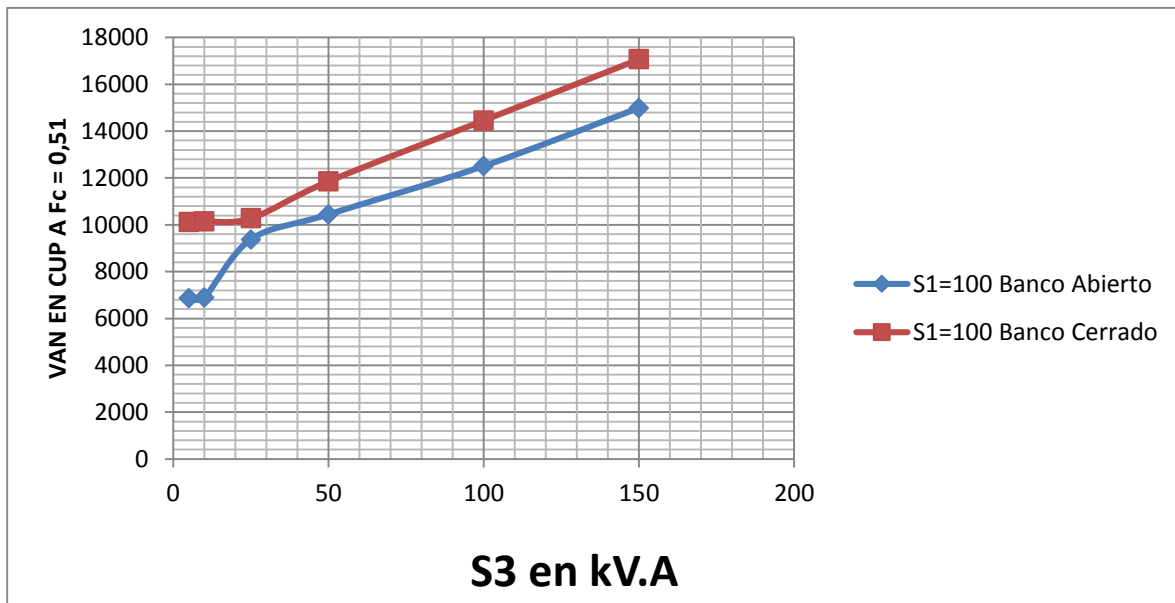


Figura AIII.5: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 100$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.6: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 150$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_1=150$ (CUP)												
$S_3 = 5$	6474,9 (167.5)*	1190,7 (10)	123,3	7788,9	19	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	31	9551	12357
$S_3=10$	6474,9 (167.5)	1190,7 (10)	123,3	7788,9	20	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	31	9595	12388
$S_3=25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7788,9	21	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	32	9916	16770
$S_3=50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	25	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	34	11048	16957
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	40	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	39	14839	17385
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	48	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	42	16151	18773

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

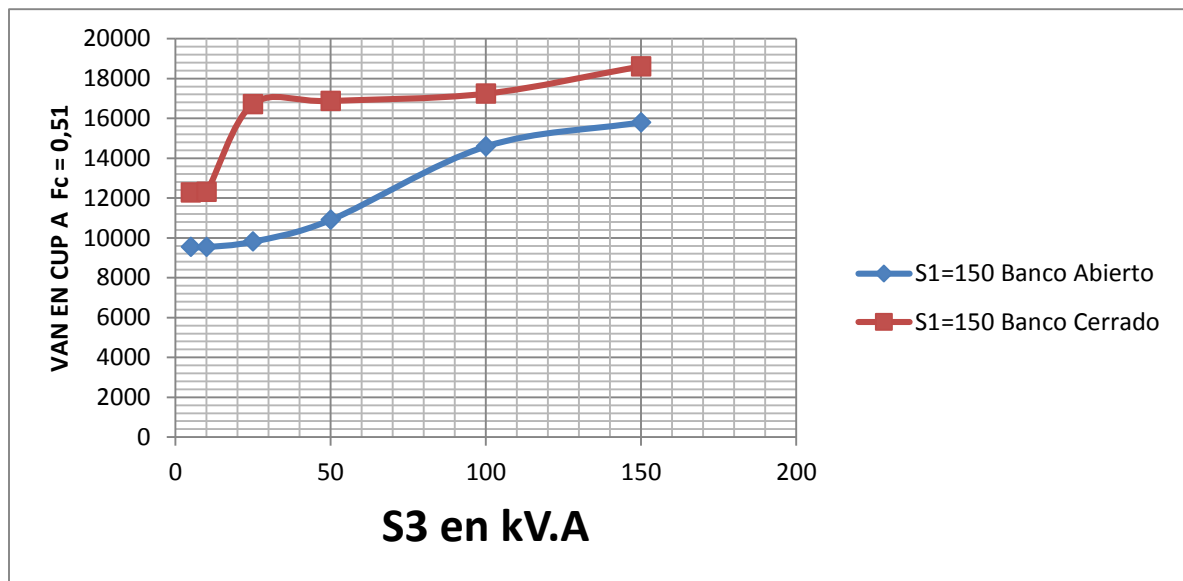


Figura AIII.6: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 150$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIII.7: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 200$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1=200$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	7510,0 (250)*	1190,7 (10)	123,3	8824,0	32	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	38	11789	17298
$S_3=10$	7510,0 (250)	1190,7 (10)	123,3	8824,0	33	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	38	11847	17338
$S_3=25$	7510,0 (250)	1351,7 (15)	123,3	8985,0	36	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	40	12317	17441
$S_3=50$	7510,0 (250)	2135,0 (37.5)	123,3	9768,3	40	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	42	13448	17669
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	51	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	45	15857	19002
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	60	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	51	17282	19531

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

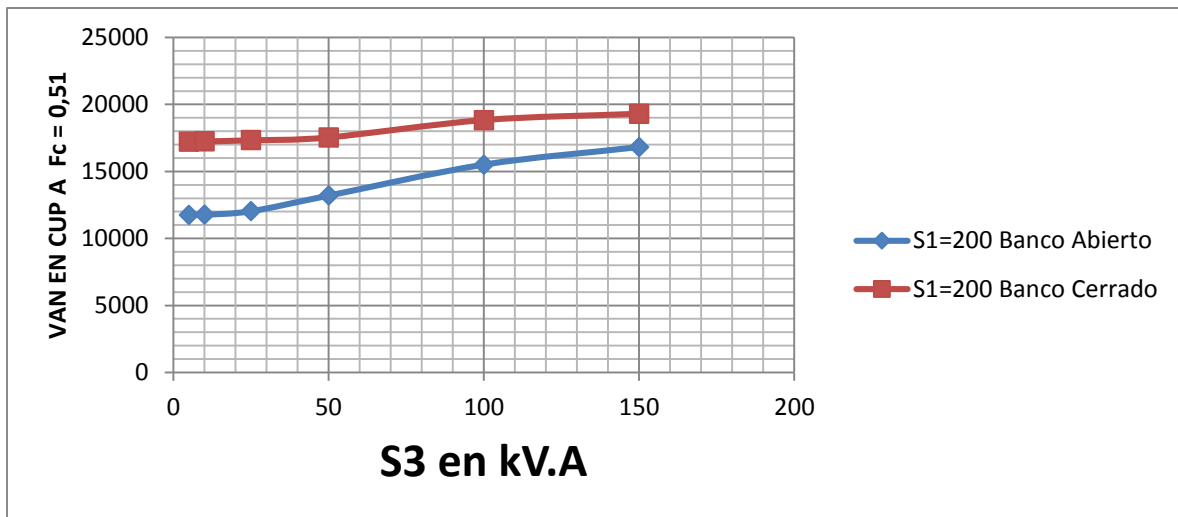


Figura AIII.7: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 200$ kV.A y S_3 variable.

Anexo IV Van para $F_c = 0.26$

Tabla AIV.1: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 5$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 5$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	1190,7 (10)*	1190,7 (10)	123,3	2504,7	3	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	4	2781	4161
$S_3 = 10$	1190,7 (10)	1190,7 (10)	123,3	2504,7	3	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2794	4169
$S_3 = 25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	6	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	5	3644	4375
$S_3 = 50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	8	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	8	5140	5848
$S_3 = 100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	15	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	13	8664	7750
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	17	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8037,9	15	9929	9437

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

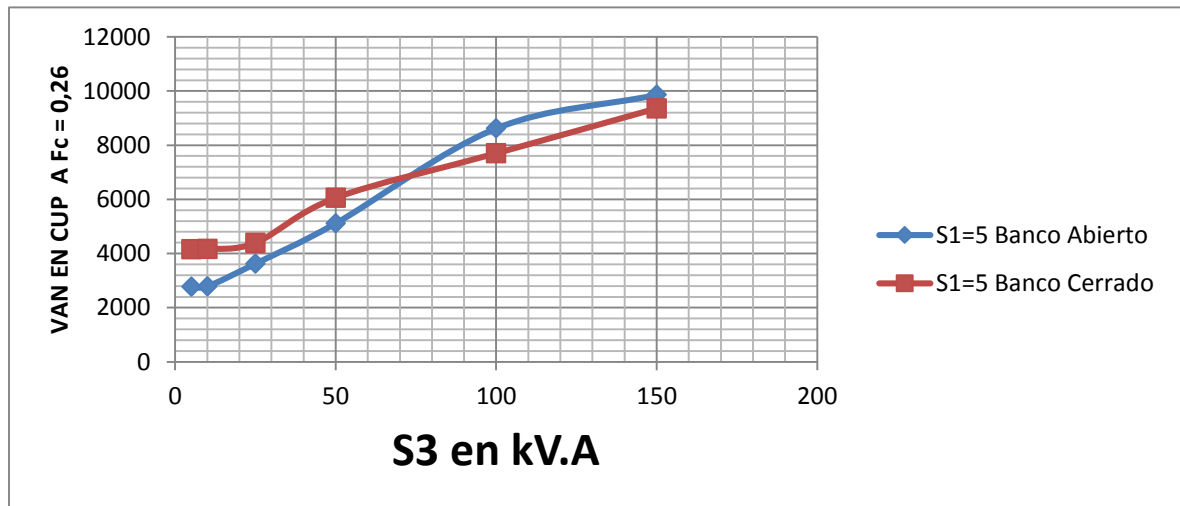


Figura AIV.1: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 5$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.2: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 10$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 10$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total	Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	1351,7 (15)*	1190,7 (10)	123,3	2665,6	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	2999	4179
$S_3=10$	1351,7 (15)	1190,7 (10)	123,3	2665,6	4	1190,7 (10)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3757,0	5	3016	4187
$S_3=25$	1630,9 (25)	1351,7 (15)	123,3	3105,9	6	1351,7 (15)	2x1190,7 (2x10)	185,0	3918,0	6	3665	4431
$S_3=50$	2135,0 (37.5)	2135,0 (37.5)	123,3	4393,3	8	1630,9 (25)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5077,6	9	5161	5872
$S_3=100$	3578,6 (75)	3578,6 (75)	123,3	7280,4	15	2135,0 (37.5)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	6590,0	13	8680	7768
$S_3=150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	17	2617,7 (50)	2x2617,7 (2x75)	185,0	8037,9	18	9947	9655

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

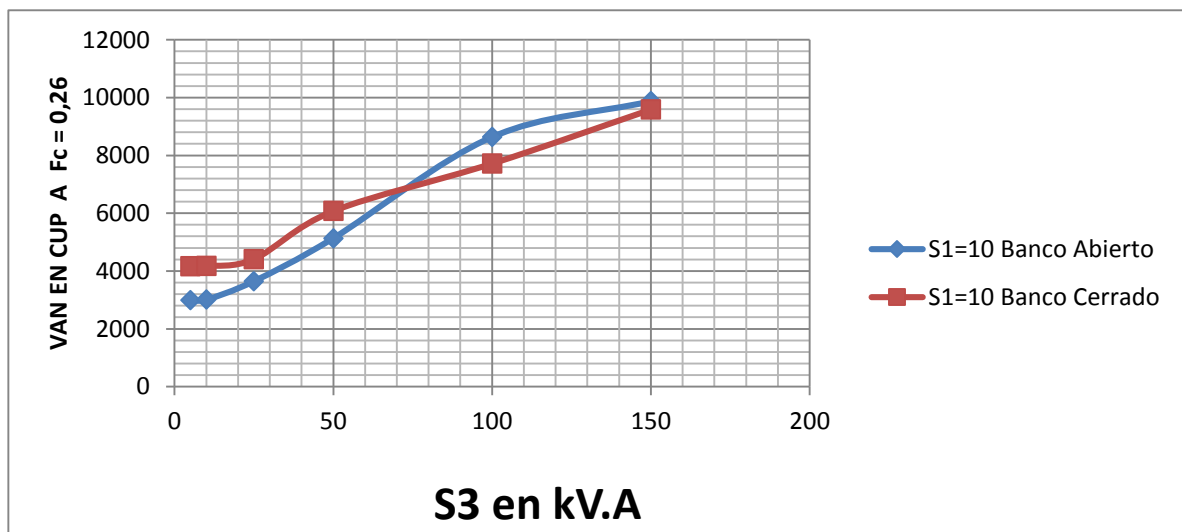


Figura AIV.2: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 10$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.3: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 25$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 25$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	2135,0 (37.5)*	1190,7 (10)	123,3	3449,0	5	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4197,3	7	3946	4834
$S_3 = 10$	2135,0 (37.5)	1190,7 (10)	123,3	3449,0	6	1630,9 (25)	2x1190,7 (2x10)	185,0	4119,3	7	3958	4849
$S_3 = 25$	2135,0 (37.5)	1351,7 (15)	123,3	3610,0	6	1630,9 (25)	2x1351,7 (2x15)	185,0	4519,2	8	4204	5287
$S_3 = 50$	2617,7 (50)	2135,0 (37.5)	123,3	4876,0	9	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	12	5704	6657
$S_3 = 100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	16	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	14	9263	8328
$S_3 = 150$	4118,2 (100)	4118,2 (100)	123,3	8359,7	18	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	18	9979	10663

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

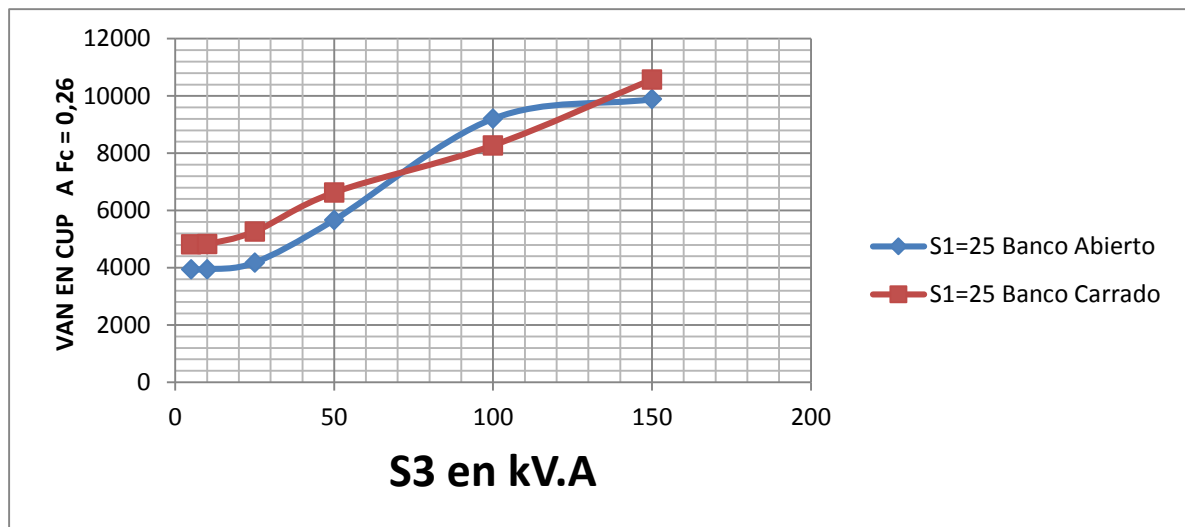


Figura AIV.3: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 25$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.4: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 50$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1 = 50$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3=5$	2617,7 (50)*	1190,7 (10)	123,3	3931,6	7	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	12	4535	6640
$S_3=10$	2617,7 (50)	1190,7 (10)	123,3	3931,6	7	2135,0 (37.5)	2x1630,9 (2x25)	185,0	5581,8	12	4547	6652
$S_3=25$	3578,6 (75)	1351,7 (15)	123,3	5053,6	10	2617,7 (50)	2x1630,9 (2x25)	185,0	6064,4	12	5951	7197
$S_3=50$	3578,6 (75)	2135,0 (37.5)	123,3	5836,9	12	2617,7 (50)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	7072,7	13	6933	8274
$S_3=100$	4118,2 (100)	3578,6 (75)	123,3	7820,1	16	3578,6 (75)	2x2617,7 (2x50)	185,0	8998,9	17	9324	10594
$S_3=150$	6474,9 (167.5)	4118,2 (100)	123,3	10716,5	19	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	24	12429	13618

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

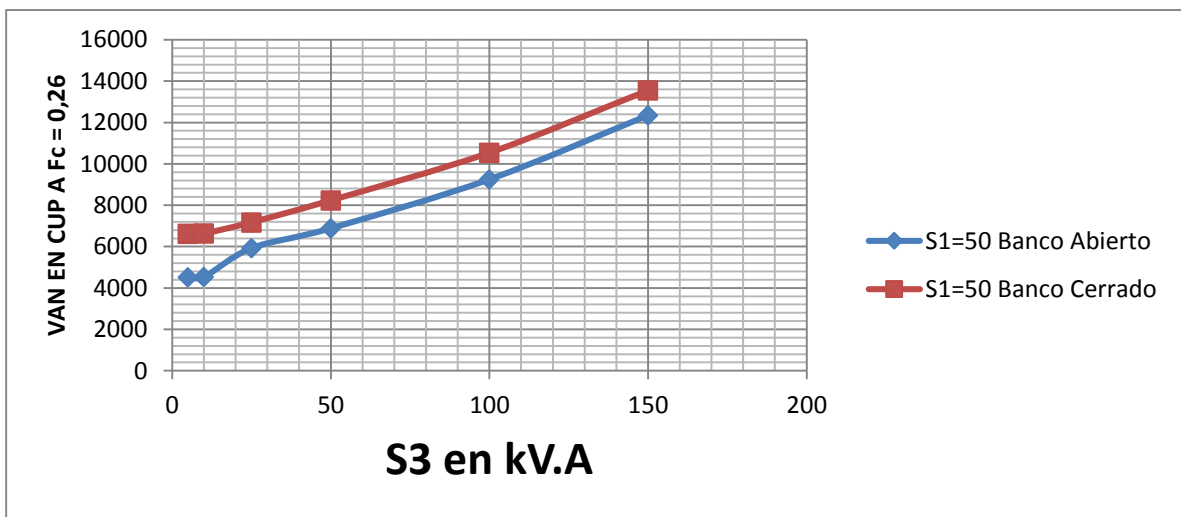


Figura AIV.4: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 50$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.5: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 100$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	4118,2 (100)*	1190,7 (10)	123,3	5432,2	11	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	16	6417	9534
$S_3 = 10$	4118,2 (100)	1190,7 (10)	123,3	5432,2	11	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	16	6524	9542
$S_3 = 25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7949,9	12	3578,6 (75)	2x2135,0 (2x37.5)	185,0	8033,6	17	9062	9581
$S_3 = 50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	14	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	18	10019	11202
$S_3 = 100$	6474,9 (167.5)	3578,6 (75)	123,3	10176,8	18	4118,2 (100)	2x3578,6 (2x75)	185,0	11460,3	24	11841	13663
$S_3 = 150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	22	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	26	13757	16189

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

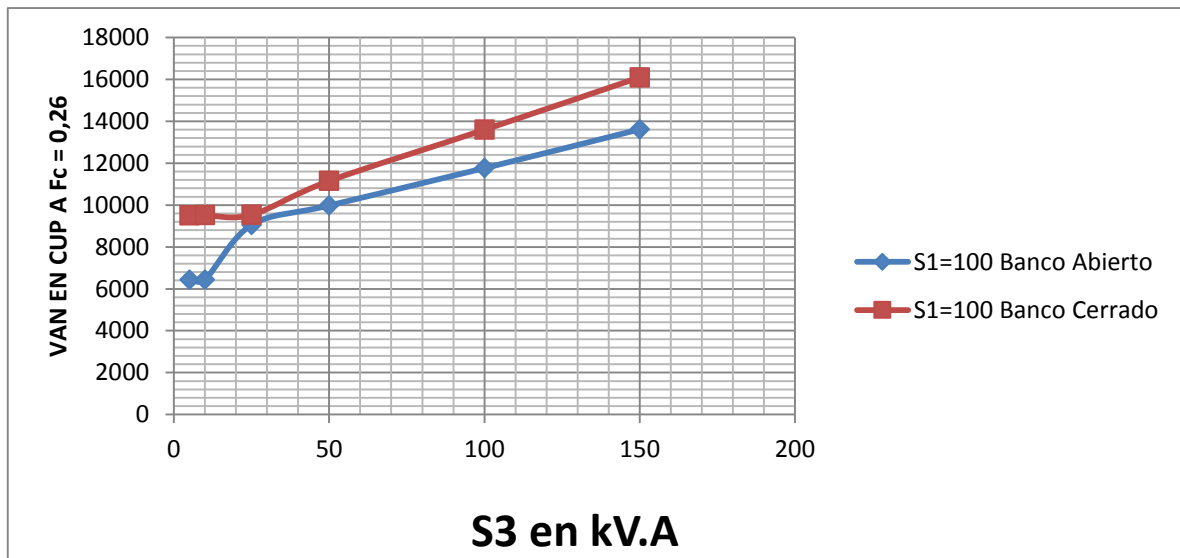


Figura AIV.5: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 100$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.6: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 150$ kV.A, y S_3 variable.

Para	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_1=150$ (CUP)					Energía kW.h/día					Energía kW.h/día		
$S_3 = 5$	6474,9 (167.5)*	1190,7 (10)	123,3	7788,9	13	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	19	8984	11317
$S_3=10$	6474,9 (167.5)	1190,7 (10)	123,3	7788,9	13	4118,2 (100)	2x2617,7 (2x50)	185,0	9538,5	20	9002	11328
$S_3=25$	6474,9 (167.5)	1351,7 (15)	123,3	7788,9	14	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	25	9206	16085
$S_3=50$	6474,9 (167.5)	2135,0 (37.5)	123,3	8733,2	15	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	22	10150	15841
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	22	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	26	13218	16237
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	24	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	28	13972	17457

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

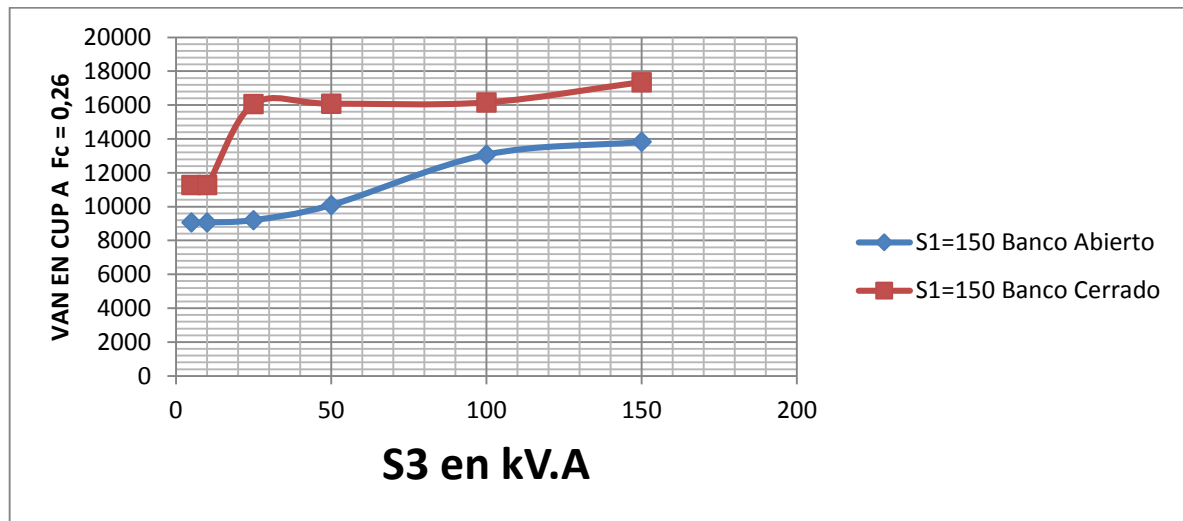


Figura AIV.6: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 150$ kV.A y S_3 variable.

Tabla AIV.7: Valor del VAN para una carga con $S_1 = 200$ kV.A, y S_3 variable.

Para $S_1=200$ (CUP)	Banco estrella abierta-delta abierta					Banco estrella-delta					VAN	
	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Inversión Inicial (CUP)				Pérd. Totales Energía kW.h/día	Abierto	Cerrado
	Transf. Alumb.	Transf. Fuerza	Acces.	Costo Total		Transf. Alumb.	Transf. Fuerza (2)	Acces.	Costo Total			
$S_3 = 5$	7510,0 (250)*	1190,7 (10)	123,3	8824,0	18	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	26	10429	16224
$S_3=10$	7510,0 (250)	1190,7 (10)	123,3	8824,0	18	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	26	10441	16234
$S_3=25$	7510,0 (250)	1351,7 (15)	123,3	8985,0	18	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	27	10637	16260
$S_3=50$	7510,0 (250)	2135,0 (37.5)	123,3	9768,3	20	6474,9 (167.5)	2x3578,6 (2x75)	185,0	13817,1	27	11587	16317
$S_3=100$	7510,0 (250)	3578,6 (75)	123,3	11211,9	25	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	29	13461	17521
$S_3=150$	7510,0 (250)	4118,2 (100)	123,3	11751,5	27	6474,9 (167.5)	2x4118,2 (2x100)	185,0	14896,4	30	14241	17654

Nota: * Los valores entre los paréntesis corresponden a la potencia del transformador monofásico.

Ejemplo: (10) es 10 kV.A.

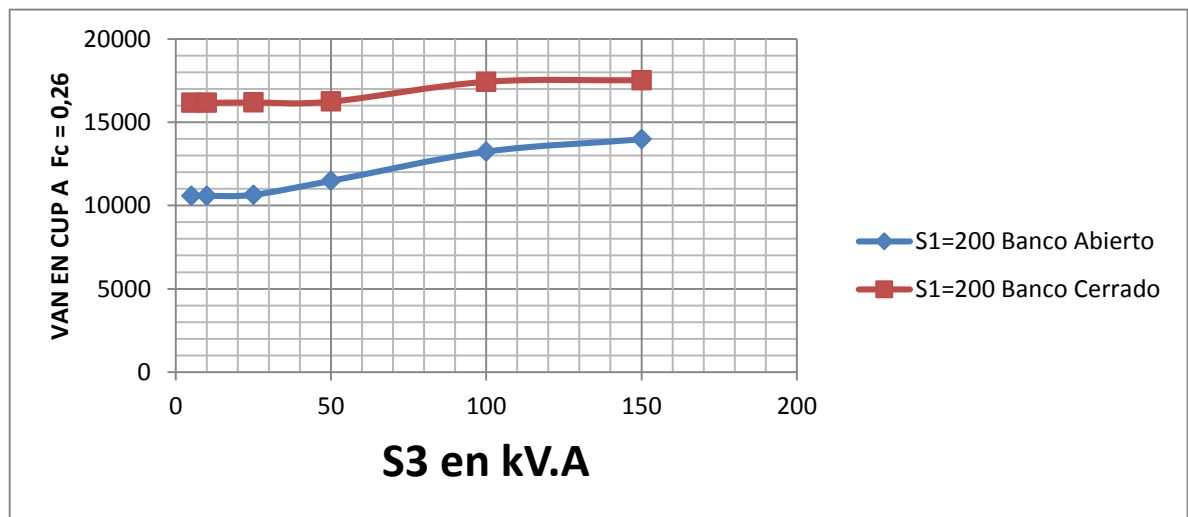


Figura AIV.7: VAN para los bancos abierto y cerrado donde $S_1 = 200$ kV.A y S_3 variable.

