



TEORICO-EXPERIMENTALES

¿ES ECONÓMICO REPARAR TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?

Orestes Hernández Areu
Dora Terrero Janer
Agosto del 2001

RESUMEN / ABSTRACT

Se exponen algunas consideraciones económicas que pudieran servir de guía para una evaluación de cuán factible puede ser la reparación de transformadores de distribución frente a la compra de unidades nuevas para las condiciones de explotación actual.

Palabras claves: transformadores, transformadores de distribución, análisis técnico-económicos.

Several economic considerations are exposed that could be a guide for an evaluation of how is able to repairing of distribution transformers versus to buy new units for the actual exploitation conditions.

Key words: transformers, distribution transformers, technical-economic analysis.

INTRODUCCIÓN

La reconstrucción o reparación de transformadores en Cuba se ha venido realizando en la medida en que ha sido necesaria la reposición de los equipos instalados y ante la imposibilidad de contar siempre con transformadores nuevos ya sean importados o fabricados nacionalmente.

Debido a la gran diversidad de modelos existentes, nuestro país se ve obligado a comprar una gran variedad de conductores y materiales en general, para llevar a cabo las reparaciones. Esto conlleva a un mayor costo de la recuperación, que si no se revierte beneficiosamente, llega a ser prohibitivo.

Por lo anteriormente expuesto, cobra gran importancia, desde el punto de vista técnico y económico, una atención prioritaria a la actividad de la reparación y en especial al balance económico que de ella resulta, que finalmente, es uno de los elementos definitorios para la estrategia a seguir con dicha actividad.

Para muchos países existe la interrogante sobre qué será lo más factible hacer; comprar equipos nuevos o reparar los usados.

Para llegar a una correcta decisión, es necesario entre otras cosas, conocer la frecuencia de fallas de los transformadores. Si éstas son pocas en un periodo de tiempo determinado, es posible que la decisión más apropiada, sea la compra de equipos nuevos para reponer. Si por el contrario, existen las condiciones y se decide reparar, sería prudente observar cuál es el comportamiento de un transformador después de reparado y cuál es su tiempo de vida útil, ya que nunca será una opción rentable, que se tenga que reparar un transformador tantas ve-

ces que el costo de la recuperación llegue a ser mayor que el costo de adquirir un equipo nuevo.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA VIDA ÚTIL DE UN TRANSFORMADOR RECONSTRUIDO

Si quisiéramos hacer un análisis de factibilidad de la reparación con los datos y estadística con que se cuenta, se pudiera adoptar la comparación entre un transformador reparado y un transformador nuevo, primeramente sobre la base de determinar el tiempo de servicio aproximado que debe brindar un equipo recuperado, teniendo en cuenta sólo su costo o precio para ser rentable frente al costo de un transformador nuevo que sea capaz de dar servicio durante un tiempo determinado o prefijado.

Inicialmente para un análisis de primera aproximación sólo se tendrá en cuenta el precio de los equipos y no se hará un análisis más profundo. Un examen del fenómeno contando con el resto de los costos se introducirá posteriormente, mediante la aplicación del “Método de Gastos Sociales o Reducidos Anuales” para comparar ambas opciones.

Si se llaman como simples ejemplos para este análisis los transformadores de 25 y 50 kVA de la firma LATINO y transformadores recuperados de 25 y 50 kVA de esta misma marca, se tendrán los siguientes datos ^[1]:

El LATINO de 25 kVA 7620/ 120 -240 le cuesta al O.B.E. 512.88 U.S.D.

Este mismo transformador reparado cuesta al O.B.E 224.20 U.S.D.

El LATINO de 50 kVA 7620/ 120 – 240 le cuesta al OBE 816.73 USD.

Este mismo transformador reparado cuesta al O.B.E 335.20 U.S.D.

Se supone que un transformador nuevo debe durar, es decir, debe tener un tiempo de vida útil, entre 15 y 20 años, tomando cualquier tiempo de vida útil se tendrá que el precio o costo de este equipo reducido a cada año de explotación sería:

$$Pr = K_v / T_v \quad (1)$$

Donde:

Pr: Costo o precio reducido por año de vida útil. (\$/a).

K_v: Precio del transformador (\$).

T_v: Tiempo de vida útil en el año (a).

Entonces, haciendo este análisis para los transformadores nuevos, suponiendo tiempos de vida de 20, 10 y 2 años, se tendrán los siguientes precios reducidos a cada año de vida (Pr):

EQUIPO	PRECIO (K _v)	Pr para cada tiempo de vida útil (T _v).		
		20 AÑOS	10 AÑOS	2 AÑOS
25 kVA nuevo	512.88 U.S.D.	25.64 \$ / a	51.29 \$ / a	256.44 \$ / a
50 kVA nuevo	816.73 USD.	40.84 \$ / a	81.67 \$ / a	408.36 \$ / a

Obsérvese que mientras más tiempo de vida tiene el equipo, menor es su costo anual.

Si ahora se investiga el tiempo de vida útil que necesitan los equipos reparados para tener el mismo costo anual de un equipo nuevo, se obtendrá la expresión (2), despejando el tiempo de vida útil de la ecuación (1):

$$T_v = K_v / Pr \quad (2)$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de T_v necesarios en los equipos reparados, para igualar los Pr de los transformadores nuevos:

EQUIPO	25 kVA reparado			50 kVA reparado		
Precio (K_v)	224.20 U.S.D.			335.20 U.S.D.		
Costo anual (Pr)	25.64 \$ / a	51.29 \$ / a	256.44 \$ / a	40.84 \$ / a	81.67 \$ / a	408.36 \$ / a
T_v nuevo (a)	20	10	2	20	10	2
T_v necesario (a)	8.74	4.37	0.87	8.20	4.10	0.82

Es decir, que si sólo tenemos en cuenta el precio o costo de los transformadores reparados y los nuevos; se pudiera plantear que hipotéticamente se asegura que para un transformador LATINO de 25 kVA, por ejemplo, recuperado que durara 8.74 años, la empresa que lo comprara haría un desembolso real igual al comprar un transformador LATINO nuevo que durara 20 años. En la medida en que el equipo reparado sobrepasara esta expectativa de vida sería más rentable su opción frente al nuevo.

Para el caso del mismo transformador nuevo, durante 10 años, su precio reducido aumentaría a:

$$Pr = 51.29 \$ / a$$

Entonces el transformador recuperado necesitaría durar más de 4.37 años para ser más rentable.

Si por el contrario el equipo nuevo dura dos años solamente, su precio reducido sería 256.44 \$ / a y el recuperado con solo sobrepasar 0.87 años de servicios fuera una opción más económica.

Debe notarse que el tiempo de vida útil necesario para que un equipo reparado sea más rentable que uno nuevo, aumenta mientras menor sea el precio del equipo nuevo y mientras mayor sea su tiempo de vida útil.

Al agregársele a este análisis, los costos de explotación de los gastos sociales o reducidos quedaría la siguiente expresión ^[2]

$$G_s = K_{inv} + K_{exp} \quad (3)$$

Donde:

G_s : Gastos sociales o reducidos anuales (\$/a).

K_{inv} : Costos de inversión (\$/a).

K_{exp} : Costos de explotación anual (\$/a).

Costos de explotación

El costo de explotación está integrado por el costo de las pérdidas de energía (K_p) más el costo de amortización del equipo (K_a):

$$K_{exp} = K_p + K_a.$$

Costo de pérdidas (K_p)

Se consideran las pérdidas de energía tanto en el núcleo o de vacío como las pérdidas en los devanados o de carga.

El costo de las pérdidas de vacío en el año será:

$$K_{po} = C_{kv} P_o 8760 \text{ Cu.} \quad (4)$$

Donde:

K_{po} : Costo de pérdidas anuales de vacío (\$/kWh).

C_{kv} : Costo del kWh de pérdidas de vacío (\$/kWh).

Po: Pérdidas de vacío (kW).

8760: No de horas de un año.

Cu: Coeficiente de utilización.

El coeficiente de Cu es la relación entre las horas en que se mantiene conectado un transformador durante un año y el número de horas del año.

En este caso para simplificar el análisis se considera que el transformador estará conectado todo el año, por lo que $Cu = 1$

El costo de las pérdidas de cargas anuales será:

$$K_{pc} = C_{kc} P_c T_e (S / S_n)^2 \quad (5)$$

Dónde:

K_{pc} : Costos de pérdidas anuales de carga del transformador (\$/kWh).

C_{kc} : costo del kWh de pérdidas de carga (\$/kWh).

En Cuba se cotizan igual las pérdidas de vacío a las de carga. Se tomara su costo aproximado igual a 0.05 \$/kWh.

S: Potencia a la que se encuentra cargado el transformador (kVA).

S_n : Potencia aparente nominal del transformador (kVA).

También para simplificar se considera que el transformador está siempre a carga nominal, entonces, $S / S_n = 1$.

T_e : tiempo equivalente (h/a).

El tiempo equivalente se tomará, según los valores utilizados en distribución, igual a 4000 h y 2000 h (para zonas residenciales e industriales respectivamente)

Entonces el costo total de pérdidas será:

$$K_p = K_{po} + K_{pc} \quad (6)$$

Costo de amortización (K_a)

Se calcula como el producto lineal entre el precio del equipo y un término conocido como norma de amortización (N_a), o sea:

$$K_a = K_v N_a \quad (\$/a) \quad (7)$$

La norma de amortización se calcula en función del inverso del tiempo de desgaste de un fondo básico en general (en este caso un transformador), o sea $N_a = 1 / T_v$ y K_a seria igual al P_r definido anteriormente y las normas de amortización serian para los transformadores nuevos las siguientes:

Transformadores nuevos	Transformador de 25 kVA			Transformador de 50 kVA		
T_v (a)	20	10	2	20	10	2
K_v (\$)	512.88	512.88	512.88	816.73	816.73	816.73
$N_a = 1 / T_v$ (1/a)	0.05	0.10	0.50	0.05	0.10	0.50
$K_a = K_v N_a = K_v / T_v$ (\$/a)	25.64	51.29	256.44	40.84	81.67	408.36

Entonces, los costos de explotación serán:

$$K_{exp} = C_{kv} P_o 8760 + C_{kc} P_c T_e + K_v / T_v \quad (8)$$

Costos de inversión

El concepto de costo de inversión, está definido por el producto del precio del equipo y el coeficiente normado de eficiencia económica (E_n).

En este coeficiente es la parte ganancia anual que se obtiene del servicio, que se dedica a la reproducción ampliada de la inversión.

También es índice del inverso del tiempo de recuperación de dicha inversión y normalmente se toma igual 0.125.

Entonces el costo de inversión será:

$$K_{inv} = E_n K_v \quad (9)$$

Los gastos reducidos serán:

$$G_s = E_n K_v + K_v / T_v + C_{kv} P_o 8760 + C_{kc} P_c T_e \quad (10)$$

Se hará primeramente un análisis para los transformadores nuevos para tiempos de vida útil de 20, 10 y 2 años, para tiempos equivalentes de 4 000 y 2 000 horas y contando con los siguientes datos:

Equipo.	Po (kW).	Pc (kW).	Kv (\$)	Ckv = Ckc (\$/kWh)	En
25 kVA nuevo	0.082	0.312	512.88	0.05	0.125
50 kVA nuevo	0.143	0.458	816.73	0.05	0.125

El análisis arrojó los siguientes resultados:

TRANSFORMADOR LATINO DE 25 kVA NUEVO.

Tiempo Equivalente (h)	4000			2000		
Tv (a)	20	10	2	20	10	2
$K_{inv} = E_n K_v$ (\$/a)	64.11	64.11	64.11	64.11	64.11	64.11
$K_a = K_v / T_v$ (\$/a)	25.60	51.28	256.44	25.60	51.28	256.44
$K_{po} = C_{kv} P_o 8760$ (\$/a)	35.92	35.92	35.92	35.92	35.92	35.92
$K_{pc} = C_{kc} P_c T_e$ (\$/a)	62.40	62.40	62.40	31.20	31.20	31.20
$K_{exp} = K_a + K_{po} + K_{pc}$ (\$/a)	123.92	149.60	307.72	92.72	118.40	323.56
$G_s = K_{inv} + K_{exp}$ (\$/a)	188.03	213.71	371.83	156.83	182.51	387.67

TRANSFORMADOR LATINO DE 50 kVA NUEVO.

Tiempo Equivalente	4000 horas			2000 horas		
Tv (a)	20	10	2	20	10	2
$K_{inv} = E_n K_v$ (\$/a)	102.09	102.09	102.09	102.09	102.09	102.09
$K_a = K_v / T_v$ (\$/a)	40.84	81.67	408.36	40.84	81.67	408.36
$K_{po} = C_{kv} P_o 8760$ (\$/a)	62.63	62.63	62.63	62.63	62.63	62.63
$K_{pc} = C_{kc} P_c T_e$ (\$/a)	91.60	91.60	91.60	45.80	45.80	45.80
$K_{exp} = K_a + K_{po} + K_{pc}$ (\$/a)	195.07	235.91	562.59	149.27	190.11	516.79
$G_s = K_{inv} + K_{exp}$ (\$/a)	297.16	338.00	664.68	251.36	292.20	618.88

Obsérvese que mientras mayor es el tiempo de vida útil, menores son los costos de explotación anuales y los gastos anuales reducidos o sociales.

Si se hace ahora el análisis para los mismos transformadores pero, recuperados, se podría conocer el tiempo que necesitarían mantenerse en servicio (tiempo de vida útil) para tener los mismos gastos sociales de los equipos nuevos. Es decir, que fijando en la expresión (10) los gastos sociales se despejará entonces, el tiempo de vida útil y quedará:

$$T_v = K_v / (G_s - E_n K_v - C_{kv} P_o 8760 - C_{kc} P_c T_e). \quad (11)$$

O:

$$T_v = K_v / (G_s - K_{inv} - K_{po} - K_{pc}) \quad (12)$$

Teniendo en cuenta que ahora K_v es 224.20 USD, para el equipo de 25 kVA y 335.20 USD para el de 50 kVA, según ya se dijo y considerando un incremento promedio en las pérdidas de vacío del transformador reparado del 10 % y un 5 % en las pérdidas de carga, entonces se puede reflejar en otras tablas, el análisis de los tiempos de vida útil que tendrían que brindar los equipos recuperados para los gastos sociales de los nuevos, a partir de los siguientes datos:

Equipo.	Po (kW).	Pc (kW).	Kv (\$)	Ckv = Ckc (\$/kWh)	En
25 kVA reparado	0.090	0.328	224.20	0.05	0.125
50 kVA reparado	0.157	0.481	335.20	0.05	0.125

TRANSFORMADOR LATINO DE 25 kVA REPARADO.

El análisis arrojó los siguientes resultados:

Tiempo Equivalente (h)	4000			2000		
Tv transformador nuevo (a)	20	10	2	20	10	2
Gs transformador nuevo (\$/a)	188.03	213.71	371.83	156.83	182.51	387.67
Kinv = En Kv (\$/a)	28.02	28.02	28.02	28.02	28.02	28.02
Kpo = Ckv Po 8760 (\$/a)	39.42	39.42	39.42	39.42	39.42	39.42
Kpc = Ckc Pc Te (\$/a)	65.60	65.60	65.60	32.80	32.80	32.80
Tv necesario (a)	4.08	2.78	0.94	3.96	2.72	0.78

TRANSFORMADOR LATINO DE 50 kVA REPARADO.

Tiempo Equivalente (h)	4000			2000		
Tv transformador nuevo (a)	20	10	2	20	10	2
Gs transformador nuevo (\$/a)	297.16	338.00	664.68	251.36	292.20	618.88
Kinv = En Kv (\$/a)	41.90	41.90	41.90	41.90	41.90	41.90
Kpo = Ckv Po 8760 (\$/a)	68.77	68.77	68.77	68.77	68.77	68.77
Kpc = Ckc Pc Te (\$/a)	96.20	96.20	96.20	48.10	48.10	48.10
Tv necesario (a)	3.71	2.55	0.73	3.62	2.51	0.73

Como se aprecia, aquí también mientras mayor expectativa de vida tiene un transformador nuevo, exige de mayor tiempo de vida útil en los equipos reparados para que sean competitivos en cuanto a costos.

Así veremos que en las condiciones que se exponen, el transformador LATINO de 25 ó 50 kVA reparado que dure más de 4 años, es una opción más rentable frente a la compra de un transformador nuevo, para la empresa que lo adquiere.

Si el transformador nuevo durara 10 años, el reparado necesita durar más de 3 años para ser más rentable

Si por el contrario el equipo nuevo dura dos años solamente, el recuperado con sólo llegar a 1 año de vida fuera una opción más económica.

CONCLUSIONES

1- Debe notarse que el tiempo de vida útil necesario para que un equipo reparado sea más rentable que un nuevo, aumenta mientras menor sea el precio del equipo nuevo.

2- El tiempo de vida útil necesario para que un equipo reparado sea más rentable que uno nuevo, aumenta mientras mayor sea el tiempo de vida útil del transformador nuevo.

3- El tiempo de vida útil necesario para que un equipo reparado sea más rentable que uno nuevo, disminuye mientras menor sea el costo del transformador reparado.

4- Según el análisis económico realizado, los transformadores reparados comienzan a ser una opción más rentable frente a los nuevos cuando, sólo teniendo en cuenta el precio, duran más de los tiempos siguientes:

9 años si el transformador nuevo dura 20 años.

5 años si el transformador nuevo dura 15 años.

1 año si el transformador nuevo dura 2 años.

5- Si se hace todo el análisis de los costos de inversión y explotación se observa que para las condiciones aquí presentadas, un transformador reparado, es una opción más rentable, para la empresa que lo adquiere, frente a la compra de un transformador nuevo, si se logran los siguientes tiempos de vida:

4 años si el transformador nuevo dura 20 años.

3 años si el transformador nuevo dura 15 años.

1 año si el transformador nuevo dura 2 años.

REFERENCIAS

1- D. Terrero Janer. Un análisis sobre la actividad de recuperación de transformadores de distribución en el OBE C. Habana. Informe Técnico. Cuba. 1999.

2- Carvajal, R. y Díaz, Sh. : Conferencias de Economía Energética. ISPJAE, Cuba, 1987.

AUTORES

Orestes Hernández Areu.

Ingeniero electricista.

Doctor en Ciencias Técnicas.

Jefe del Grupo de Alta Tensión.

Centro de Investigación y Pruebas

Electroenergéticas.

ISPJAE

Email: orestes@cipel.ispjae.edu.cu

Dora Terrero Janer.

Ingeniera Electricista.

Jefa de la Sección Técnica de la Fábrica de Transformadores

Latino.

OBE, Ciudad Habana.