

## Unificación De La Fórmula De Evaluación De Pérdidas En Transformadores En Colombia.

### Determinación De Los Coeficientes $K_1$ Y $K_2$

Pedro Nel Romero Vanegas

Ing. Electricista Universidad de los Andes

Director de proyectos de Serinca Ingeniería Ltda.

### Introducción

El propósito de esta guía es presentar los valores unificados a nivel colombiano de los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  de la fórmula de evaluación de pérdidas, establecida en la norma técnica colombiana (NTC) 2135, con el fin de valorar la potencia eléctrica que es necesaria para suministrar las pérdidas de un transformador.

El usuario (empresas de energía, contratistas), puede utilizar esta evaluación para determinar el beneficio económico relativo de una unidad de bajas pérdidas y un costo inicial alto versus una unidad de costo inicial bajo, pero de altas pérdidas.

Los fabricantes pueden utilizar esta fórmula de evaluación para optimizar sus diseños y determinar la unidad más económica a proponer y fabricar.

Los coeficientes de evaluación de las pérdidas ( $K_1$  y  $K_2$ ) permiten al usuario comparar las ofertas de dos o más fabricantes y ayudarle a determinar la mejor alternativa de compra entre varias ofertas.

### 1 Objetivo

A pesar de que existe la norma NTC 2135 "Guía para fórmulas de evaluación de pérdidas", la cual establece el procedimiento y la formulación matemática para cuantificar el valor económico de las pérdidas de energía eléctrica en transformadores de distribución y potencia, ésta no determina el valor de los coeficientes de pérdidas de energía en vacío ( $K_1$ ) y pérdidas de energía bajo carga ( $K_2$ ). De acuerdo con lo anterior el comité de calidad del sector eléctrico colombiano, encargó al subcomité de unificación – grupo transformadores, la definición de una fórmula única a nivel nacional para la evaluación de pérdidas en transformadores.

El subcomité coordinado por la Empresa de Energía de Bogotá (EEB), evaluó la norma, determinó los valores de cada uno de los parámetros y acordó establecer dos fórmulas de evaluación de pérdidas: una para las empresas generadoras y distribuidoras de energía y otra

para las empresas que únicamente son distribuidoras de energía. Así mismo, se acordó revisar y actualizar estos parámetros en junio de 1995.

### 2. Metodología

De acuerdo con lo establecido por la norma NTC 2135, la fórmula para la evaluación de pérdidas en transformadores de distribución está dada por:

$$C_{it} = CT + K_1 * P_o + K_2 * P_{cu}$$

En donde:

- $C_{it}$ : Costo final evaluado del transformador.
- CT: Valor cotizado del transformador.
- $K_1$ : Coeficiente de las pérdidas en vacío (\$/kW).
- $K_2$ : Coeficiente de las pérdidas en el cobre (\$/kW).
- $P_o$ : Pérdidas en vacío declaradas en la oferta (kW).
- $P_{cu}$ : Pérdidas en el cobre declaradas en la oferta (kW).

### 3. Determinación Del Coeficiente De Pérdidas En Vacío ( $K_1$ )

Para determinar el coeficiente  $K_1$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_1 = DV + EV$$

En donde:

- DV: Costo por demanda, que es igual a la inversión en infraestructura para llevar la energía que opera el transformador hasta su punto de instalación.

$$DV = a * Fd$$

- a: Costo de instalación, en \$/Kw., incluyendo todas las etapas que realice cada empresa en particular.
- Fd: Factor de descuento. Utilizado para traer a valor presente la inversión futura necesaria para llevar la energía de pérdidas hasta el transformador.

$$Fd = 1 / (1 + i)^A$$

En donde:

- i: Tasa de retorno anual del capital.
- A: Número de años para la saturación del sistema.

EV: Costo en que incurren las empresas para producir los kW-h de energía desperdiciados como pérdidas en vacío.

$$EV = 8.760 * \frac{(1 + INF)^n - (1 + i)^n}{(INF - i)} * \frac{1}{(i + i)^n} * CE$$

En donde:

n: Vida útil del transformador en años.

INF: Tasa de inflación para el costo de producción de energía.

CE: Costo de producción de energía (en \$/kW-h) para el primer año, hasta el punto de instalación del transformador.

## 4. Determinación del coeficiente de pérdidas en el cobre k2

Para la determinación del coeficiente K<sub>2</sub> se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_2 = DC + CE$$

En donde:

DC: Costo de demanda para las pérdidas en carga (en \$/kW).

$$DC = a * F_d * Fr^2 * I_{pe}^2$$

Fr: Factor de coincidencia de carga. Toma diferentes valores según la ubicación del transformador.

I<sub>pe</sub>: Carga pico equivalente del transformador durante su vida útil. Dada en por unidad.

$$I_{pe} = I_p * \frac{(1 * CC)^n - (1 * i)^n}{(CC - i)} * \frac{i}{(1 * i)^n - 1}$$

En donde:

I<sub>p</sub>: Carga pico del transformador. Dada en por unidad.

CC: Crecimiento de la carga anual. Dada en por unidad.

EC: Costo en que incurren las empresas para producir los kW-h de energía desperdiciados como pérdidas en carga (\$/kW-h).

$$EC = 8.760 * F_p * CE * d^2$$

En donde:

$$F_p = C * F_c + (1 - C) * F_c^2$$

C: Constante que depende del punto del sistema.

F<sub>c</sub>: Factor de carga del sistema.

d<sup>2</sup>: Carga pico cuadrática equivalente total, para el costo por energía de las pérdidas de carga.

$$d^2 = I_p^2 * \frac{(1 + INF)^n * (1 + CC)^{2n} - (1 + i)^n}{(1 + INF) * (1 + CC)^2 - (1 + i)} * \frac{1}{(1 + i)^n}$$

## 5. Sensibilidad De La Fórmula

Se tomaron los siguientes documentos de referencia:

- Norma ICONTEC 2135 «Guía para la evaluación de pérdidas».
- Documento EADE «Evaluación de pérdidas en transformadores».
- Documento EEB «Penalización de pérdidas».

Con base en los documentos anteriores, en especial el de EADE, se observó que la estimación de los coeficientes K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub> es muy sensible a la variación de los siguientes parámetros:

n: Vida útil del transformador. La cual puede ser diferente para transformadores de potencia, transformadores de distribución urbana o transformadores de distribución rural.

INF Tasa de inflación aplicada por cada empresa, el cual también es diferente si la fórmula se aplica en pesos o en dólares.

F<sub>c</sub> Factor de carga del sistema. Parámetro que puede variar dependiendo del sistema de distribución: potencia, distribución urbana o distribución rural.

a Costo total de inversiones. Varía en menor grado.

CE Costo de producción de la energía para el primer año.

Evaluada la sensibilidad de la fórmula a estos parámetros se acordó unificar los siguientes valores, los cuales fueron adoptados del estudio «Costos incrementales de energía y potencia en 1991. Escalafón con índices de costos del sector eléctrico», documento ISA-OPUN 18SE, Medellín. Noviembre 20 de 1991. Los valores fueron actualizados a pesos de junio de 1994, tomando el valor del costo incremental promedio nacional (CIPLP).

Dado que el costo de la infraestructura de las empresas generadoras y las distribuidoras es diferente (parámetro a), se acordó establecer dos fórmulas: una para empresas generadoras y distribuidoras de energía y otra para aquellas empresas que sólo son distribuidoras de energía.

N = 10 años

FC = 0.6

a = \$1'300.000 (para electrificadoras generadoras de energía. \$160.000 (para electrificadoras distribuidoras de energía).

CE = \$31.55 \$/kW-h

INF = 22%

i = 0.12

A = 5 años

Fr = 0.7 (para circuitos de distribución).

I<sub>p</sub> = 0.8

CC = 0.04 (4% anual).

C = 0.15 (para distribución).

De acuerdo con lo anterior, se obtienen los siguientes valores para los factores  $K_1$  y  $K_2$ , para empresas generadoras-distribuidoras y sólo distribuidoras de energía:

#### **ELECTRIFICADORAS-GENERADORAS-DISTRIBUIDORAS**

$K_1$  = \$4'473.998

$K_2$  = \$1'768.019

#### **ELECTRIFICADORAS-DISTRIBUIDORAS**

$K_1$  = \$3'827.131

$K_2$  = \$1'496.031

Los anteriores coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  se adoptan como unificados a nivel del sector eléctrico y su validez es hasta junio 30 de 1995, fecha en la cual deberán revaluarse y ajustarse a las condiciones vigentes del sector eléctrico.

Documentos de referencia:

- Norma ICONTEC 2135 «Guía para la evaluación de pérdidas».
- Documento EADE «Evaluación de pérdidas en transformadores».
- Documento EEB «Penalización de pérdidas ».

- «Costos incrementales de energía y potencia en 1991. Escalación con índices de costos del sector eléctrico», documento ISA-OPUN 18 SE, Medellín, noviembre 20 de 1991.

-----  
Si desea cambiar su dirección electrónica, suscribir a un colega, solicitar ediciones anteriores o borrarse de la lista de distribución, envíenos un mensaje a:

[carango@gamma.com.co](mailto:carango@gamma.com.co)

Atn Ing. Claudia Arango Botero.

Visítenos en nuestra página Web:

<http://www.gamma.com.co> o [www.corona.com.co](http://www.corona.com.co)