

Explicación detallada de la aplicación de la Formula de Pérdidas

La fórmula aplicada para la capitalización de Transformadores de Distribución se encuentra en correspondencia con la fórmula de la Norma ABNT NBR 5440 "Transformadores para redes aéreas de distribución — Requisitos", en la cual indica en su anexo F, lo relacionado a capitalización de pérdidas, se indica cuanto sigue.

Para poder obtener la fórmula actualizada de pérdidas, tomar el costo marginal y la tasa de descuento oficial de ANDE, cuyos valores son:

1. El costo marginal de largo plazo a nivel de 23 kV (entrega en línea) Gs/kwh = 375,60.
2. Tasa de descuento de la ANDE (%) = 7,37 (0,0737pu).

Teniendo en cuenta lo desarrollado, se indica más abajo, los valores, parámetros, y fórmulas establecidas por la Norma de referencia para la Obtención del Costo Capitalizado (C_c), siendo la fórmula la siguiente:

$$1) C_c = C_t + A * P_o + B * P_k$$

Dónde:

C_c = Costo de capitalización o precio de comparación con capitalización de perdidas

C_t = Costo ofertado del oferente

A = costo de las pérdidas en vacío.

P_o = valor de las pérdidas en vacío.

B = costo de las pérdidas en carga.

P_k = valor de las pérdidas en carga.

Cabe destacar y aclarar que P_o e P_k son propiedades del equipo y los valores deben ser suministrados por los oferentes o fabricantes. A y B dependen del precio de la energía, de la expectativa de vida útil del equipo además el factor B también depende de la expectativa de carga del transformador.

Los factores A y B son establecidos de la siguiente manera:

$$2) A = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} * C_{KWH} * 8760$$

$$3) B = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} * C_{KWH} * 8760 * \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2$$

Dónde:

i = tasa de descuento expresada en porcentaje por año.

n = vida útil, expresada en años. (Se considera 10 años que es el valor de frontera superior que indica la norma para la aplicación de la fórmula y se ajusta a la expectativa mínima de vida útil de los equipos transformadores apuntada por ANDE)

C_{KWH} = precio de la energía expresado en dólares por Kw/h (\$/Kwh). Valor variable sujeto a cotización diaria del dólar utilizada como referencias en los llamados de licitación.

8760 = número de horas del año.

I_L = corriente media de carga.

I_r = corriente nominal.

Para exponer lo indicado más arriba y dejar la ecuación (1) con la misma estructura que la ecuación (12) se procede a realizar los siguientes arreglos:

Sustituyendo (2) en (3)

$$4) B = A * \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2$$

$$5) W_t = P_0 + P_K$$

$$6) P_K = W_t - P_0$$

Sustituyendo (4) y (6) en (1)

$$7) C_C = C_t + A * P_0 + A * \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * (W_t - P_0)$$

$$8) C_C = C_t + A * P_0 + A * \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * W_t - A * \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * P_0$$

$$9) C_C = C_t + A * \left[P_0 + \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * W_t - \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * P_0 \right]$$

$$10) C_C = C_t + A * \left[\left(1 - \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2\right) * P_0 + \left(\frac{I_L}{I_R}\right)^2 * W_t \right]$$

Considerando que el estado de carga al 50% de la nominal es el valor promedio de carga transformadores de distribución analizados y establecidos por ANDE, el resultado del estado de la valorización de las pérdidas presenta un comportamiento tal como se indica en la ecuación (11). Que reemplazando dicho valor de estado de carga, el costo de capitalización queda de la siguiente manera:

$$11) C_{C_{IL=0,5 IR}} = C_t + A * [0,75 * P_0 + 0,25 * W_t] = C_C = \text{Costo de Capitalización.}$$

Por otro lado, la fórmula o ecuación (12) objeto de análisis y utilizada hasta la fecha como fórmula de pérdida para la adquisición de Transformadores tiene la siguiente estructura:

$$12) P_A = P + 0,38 * [4519,7 * W_{FE} + 1506,6 * W_{tot}]$$

Como se observa los factores multiplicadores de la ecuación (12) utilizada en el pliego de bases y condiciones hasta la fecha y la ecuación (11) deducida del arreglo de la fórmula de capitalización de pérdidas de la ABNT NBR 5440 para una $IL = 0,5 IR$ tienen una relación de 3:1 entre ambos factores, por lo que se deduce que para un estado de carga de 50% la ecuación (11) tiene similar comportamiento a los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ecuación (12) y podrá ser actualizada de acuerdo a los cambios de los valores de precio de energía y cotización del dólar o cambios en otras variables que modifiquen las componentes A o B.

De esta forma, al considerar la corriente de carga $IL = 0,5 IR$ como estado representativo de funcionamiento del transformador, podemos finalmente definir la ecuación de cálculo de pérdida de la siguiente manera, en formato de los valores las pérdidas en vacío y de las pérdidas en carga del transformador para el año 2019 utilizando cotización del dólar a la fecha de emisión de este informe (26/09/19 – 1 Usd = 6395,56 Gs) queda de la siguiente manera:

$$13a) C_c = C_t + A * P_o + B * P_k$$

$$13b) C_c = C_t + 3552,34 * P_o + 888,08 * P_k \text{ (ejemplo de aplicación para cotización de la fecha de análisis)}$$

Dónde:

C_c = Costo de capitalización o precio de comparación con capitalización de pérdidas para el costo de dólar a la fecha (25/09/2019).

C_t = Costo ofertado del oferente

P_o = valor de las pérdidas en vacío.

P_k = valor de las pérdidas en carga.

$A = 3552,34$ = costo de las pérdidas en vacío para el costo de dólar a la fecha (25/09/2019).

$B = 888,08$ = costo de las pérdidas en carga para el costo de dólar a la fecha (25/09/2019).

Esta ecuación asume que el precio de la energía y la carga son constantes, durante la vida útil considerado del transformador ($n=10$ años ABNT NBR 5440).

O también puede ser considerada utilizando la fórmula en función de las pérdidas en vacío y pérdidas totales, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$14) = 11) C_{C_{IL=0,5 IR}} = C_t + A * [0,75 * P_o + 0,25 * W_t]$$

Sustituyendo A en función de los valores actualizados de costo de energía y costo de dólar a día de la fecha 26/09/2019 (cotización adjunta a éste informe), ésta queda de la siguiente manera:

$$15) C_c = C_t + 3552,34 * [0,75 * P_o + 0,25 * W_t]$$

$$16) C_c = C_t + 2664,25 * P_o + 888,08 * W_t$$

Dónde:

C_c = Costo de capitalización o precio de comparación con capitalización de perdidas

C_t = Costo ofertado del oferente

P_o = valor de las pérdidas en vacío.

W_t = valor de las pérdidas totales.

Nota: Los valores de las variables A y B, al ser dependientes de la cotización del dólar a la fecha de los procesos de compras de equipos transformadores sufrirán variaciones en sus valores respectivos como se indica en la siguiente tabla referencial.

Cotización del día (Gs)	A	B	Cotización del día (Gs)	A	B	Cotización del día (Gs)	A	B
4500	5049	1262	5500	4131	1033	6500	3495	874
4550	4993	1248	5550	4094	1023	6550	3469	867
4600	4939	1235	5600	4057	1014	6600	3442	861
4650	4886	1221	5650	4021	1005	6650	3416	854
4700	4834	1208	5700	3986	996	6700	3391	848
4750	4783	1196	5750	3951	988	6750	3366	841
4800	4733	1183	5800	3917	979	6800	3341	835
4850	4684	1171	5850	3884	971	6850	3317	829
4900	4637	1159	5900	3851	963	6900	3293	823
4950	4590	1147	5950	3818	955	6950	3269	817
5000	4544	1136	6000	3787	947	7000	3246	811
5050	4499	1125	6050	3755	939	7050	3223	806
5100	4455	1114	6100	3724	931	7100	3200	800
5150	4412	1103	6150	3694	924	7150	3178	794
5200	4369	1092	6200	3664	916	7200	3155	789
5250	4327	1082	6250	3635	909	7250	3134	783
5300	4287	1072	6300	3606	902	7300	3112	778
5350	4247	1062	6350	3578	894	7350	3091	773
5400	4207	1052	6400	3550	887	7400	3070	768
5450	4169	1042	6450	3522	881	7450	3050	762

Tabla referencial de variación de valores de A y B en función a la cotización del dólar

Por tanto se debe utilizar la **ecuación (13a)** realizando los ajustes y reemplazos correspondientes de los valores (A) y (B) en base a la cotización del dólar considerando que dicha fórmula es directamente comparable en su estructura con la indicada en el **ANEXO F** de la **ABNT NBR 5440** que es utilizada por la ANDE como orientación para el diseño y fabricación de Transformadores de Distribución.