



***Comisión Federal de Electricidad®
Distribución***

*División de Distribución Jalisco
Subgerencia de Operación y Mantenimiento*

*Impacto de las Perdidas Técnicas en la
reparación de transformadores de
distribución (CFE K0000-14)*

RVP-AI / ROC&C
IEEE Sección México

14 al 18 de Noviembre 2021
Acapulco, Guerrero

Actualmente la necesidad de ser productivos y competitivos, obliga a redoblar esfuerzos y a verificar todas las condiciones de operación de las redes Generales de Distribución, en especial de los transformadores. Estos equipos aportan una cantidad considerable de las pérdidas totales en las redes. Dada su extendida aplicación y su larga vida útil, estos equipos de distribución tienen un gran potencial de ahorro de energía.

Considerando que los transformadores nuevos hoy en día se están adquiriendo con la norma NOM-002-SEDE/ENER-2014 (Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución), la cual indica las características mínimas de eficiencia-pérdidas, las cuales impactan directamente en el rendimiento energético. Esta situación obliga entonces a realizar un análisis del Impacto de las pérdidas técnicas para la factibilidad de seguir reparando transformadores antiguos, ya que estos además del costo de la reparación, nos aportan costo por las altas pérdidas durante toda su vida útil.

Ahora bien actualmente en las RGD's se tienen transformadores operando con las NOM-002-SEDE-1999 y la NOM-002-SEDE-2010, las cuales consideraban menores valores de eficiencia con respecto a la NOM-002-SEDE/ENER-2014, por lo cual se realizara un análisis en este sentido para determinar esta condición como detonante para realizar reparaciones a los transformadores de distribución, trasladando a valores monetarios ocasionados por las perdidas.

Situación Actual

CFE-Distribución cuenta actualmente con 1'473,034 transformadores operando en la RGD's. De acuerdo a la siguiente distribución por División.

DIVISION	TOTAL
BCA	105,318
BAJ	157,485
COC	76,137
COR	81,366
CSR	54,377
GCT	80,639
GNT	172,290
JAL	73,058
NOE	124,008
NTE	81,244
OTE	104,570
PEN	70,466
STE	177,778
VMC	21,718
VMN	43,799
VMS	48,781
TOTAL	1,473,034

Situación Actual

De los equipos operando podemos verificar los transformadores que se construyeron antes y durante las NOM-002-SEDE-1999 y la NOM-002-SEDE-2010. Fecha de fabricación 1970-2014.

División	Periodo (1970-2014)
	Total
BCA	94,826
BAJ	113,159
COC	60,832
COR	41,384
CSR	26,133
GCT	57,881
GNT	141,189
JAL	51,638
NOE	99,970
NTE	66,514
OTE	74,661
PEN	45,997
STE	108,632
VMC	18,216
VMN	7,366
VMS	26,859
TOTAL	1,035,257

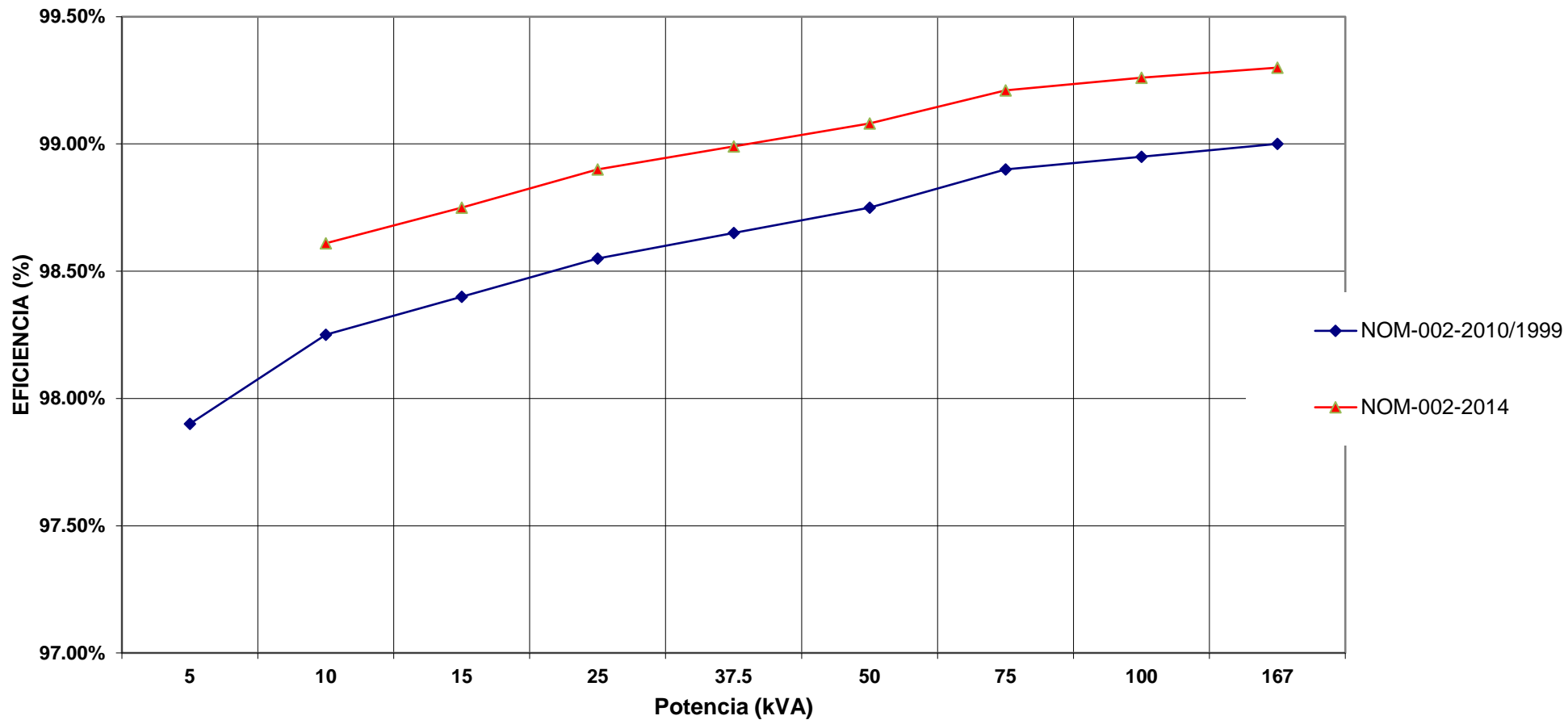
Situación Actual

Ahora bien determinamos la cantidad de Transformadores que se construyeron bajo la NOM-002-SEDE/ENER-2014.

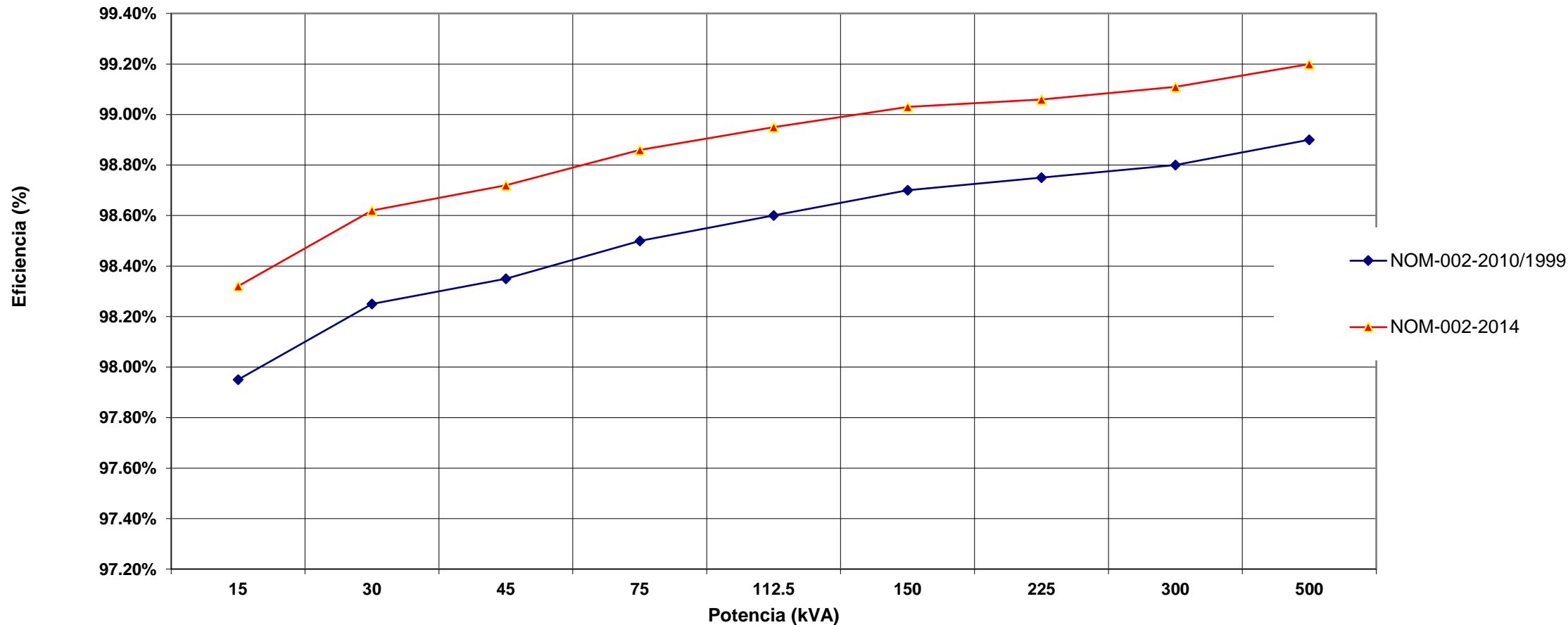
División	Periodo (2015-2020)
	Total
BCA	10,492
BAJ	44,326
COC	15,305
COR	39,982
CSR	28,244
GCT	22,758
GNT	31,101
JAL	21,420
NOE	24,038
NTE	14,730
OTE	29,909
PEN	24,469
STE	69,146
VMC	3,502
VMN	36,433
VMS	21,922
TOTAL	437,777

Se muestran las graficas de las eficiencias en cada una de las capacidades tanto de transformadores monofásicos como trifásicos comparando las NOM-002-SEDE-1999 y la NOM-002-SEDE-2010, con la NOM-002-SEDE/ENER-2014, para verificar la evolución de forma grafica.

MONOFÁSICOS CLASE 15 kV



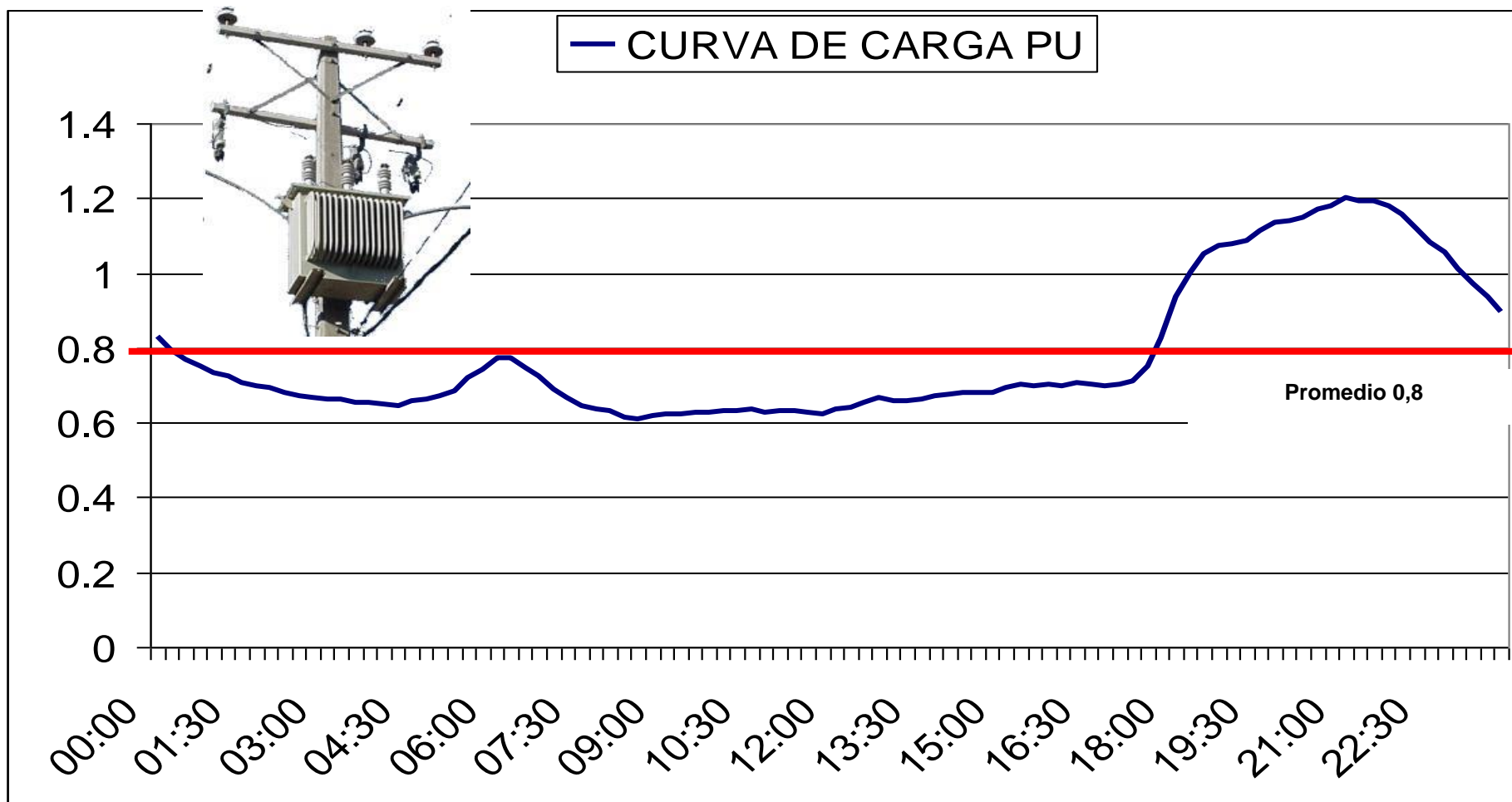
TRIFÁSICOS CLASE 15 kV



La propuesta de evaluación de los transformadores de distribución para mantenimiento y/o reparación construidos antes del 2000, tiene como objetivo que las eficiencias mínimas y pérdidas máximas se establezcan a un nivel de carga del 80%, que es el valor considerado como el valor promedio de carga anual al que está sometido el transformador inmerso en aceite de acuerdo a la filosofía de cargabilidad de CFE, lo que indica que el transformador no opera a su corriente nominal, y por tanto, el valor de eficiencia es mayor que al considerarlo a plena carga, ya que las pérdidas debidas a la carga y su temperatura de operación son menores, por lo que la elevación de temperatura pasa de 85°C a 70°C.

Propuesta

Gráfica de comportamiento del factor de carga de un transformador de distribución en un periodo de 24 horas.



En la norma NOM-002-SEDE-2010 el cálculo de la eficiencia se obtenía con la siguiente formula:

$$Eficiencia (\eta) = \frac{P_s}{(P_s + P_c + P_v)} \times 100$$

Dónde:

Ps = capacidad nominal;

Pc = son las pérdidas debidas a la carga

Pv = son las pérdidas en vacío.

En la actual NOM-002-SEDE/ENER-2014, para determinar la eficiencia se consideran las pérdidas nominales en vacío y debidas a la carga referidas a un factor de carga del 80% derivadas de la medición de las pérdidas al 100% de la carga y corregidas a 85°C y a factor de potencia unitario de acuerdo a la formula siguiente:

$$\%E = \frac{100 \times (P \times \kappa VA \times 1000)}{(P \times \kappa VA \times 1000) + NL + (LL \times P^2 \times T)}$$

Dónde:

P = Carga por unidad (0.8)

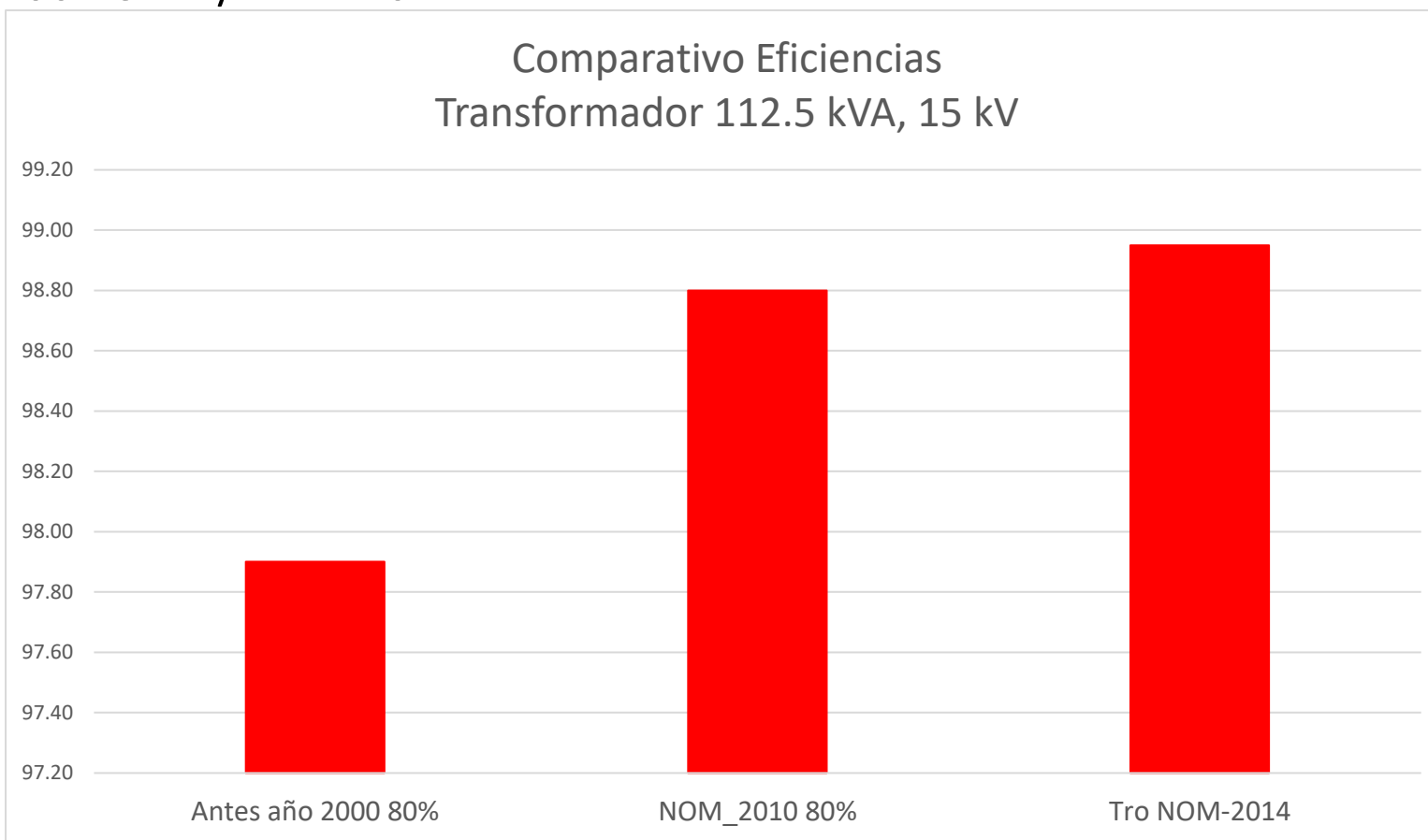
kVA = Capacidad nominal

NL = Pérdidas en vacío

LL = Pérdidas debidas a la carga a temperatura de referencia a 85°C

T = Factor de corrección para las pérdidas debidas a la carga a 70 °C (0.952332)

Consideraron transformadores trifásicos de 112.5 kVA, clase 15 kV, con una fecha de fabricación de anteriores a 1999, otro con la NOM-002-10, para compararlo con los valores de eficiencia y pérdidas de la NOM-002-SEDE/ENER-2014



Validando la diferencia de los valores de eficiencia de transformadores fabricados con las NOM-002/2011-2014 y anterior a la NOM-002-SEDE-1999 es decir al año 2000. Esto derivado a que antes de esta fecha no estaba normado el criterio de los valores de pérdidas considerados para la fabricación de los transformadores.

En base a esta condición se desarrollara un análisis considerando que estos transformadores reparados tendrán una vida útil ahora ya de 20 años y realizando una comparativa con la NOM-002/2014. El análisis arroja perdidas en vacío, carga, totales, costo generado por las pérdidas anuales y en 20 años.

Para efectos de visualizar el impacto económico de las pérdidas totales, se ha estimado una tarifa de alto consumo DAC de \$5.5/kWh, esta tarifa es promedio país (considerando la época del año y ubicación territorial). Desde el punto de vista de sustentabilidad ambiental, el maximizar eficiencias y por tanto, minimizar pérdidas.

De esta manera se evidencia el costo de perdidas técnicas de un transformador de 112.5 kVA con fabricación antes del 1999, con fabricación entre el 2000 y el 2010 en relación con un fabricado después del 2014.

Ventajas Económicas y Sustentables

DATOS	FABRICACION ANTES 2000	FABRICACION ANTES 2000 con factor carga 80 %	NOM 002-SEDE/ENER-2010	NOM 002-SEDE/ENER-2010 con factor carga 80 %	DIFERENCIA
CAPACIDAD	112.5	112.5	112.5	112.5	kVA
PÉRDIDA EN VACIO (PV) W	454	454	350	350	↓ 104 W
PÉRDIDAS DE CARGA (PC) W	1,818	1,454	1,247	998	↓ 456 W
FACTOR DE CARGA (FC) W	1	0.8	1	0.8	
PERDIDAS TOTALES (PT) kW	2,272	1,908	1,597	1,348	↓ 560 kW
PERDIDAS TOTALES (PT)/AÑO kW	19,903	16,714	13,990	11,808	↓ 4,906 kW
COSTO PT/AÑO (\$5.5/kWh)	\$ 109,465	\$ 91,927	\$ 76,943	\$ 64,947	\$ ↓ 26,981 Pesos
COTO PT VIDA DEL TRANSFORADOR (20 años)	\$ 2,189,299	\$ 1,838,549	\$ 1,538,869	\$ 1,298,933	\$ ↓ 539,616 Pesos

Ventajas Económicas y Sustentables

DATOS	NOM 002-SEDE/ENER-2010	NOM 002-SEDE/ENER-2010 con factor carga 80 %	NOM 002-SEDE/ENER-2014	DIFERENCIA
CAPACIDAD	112.5	112.5	112.5	kVA
PÉRDIDA EN VACIO (PV) W	350	350		↓ 350 W
PÉRDIDAS DE CARGA (PC) W	1,247	998		↓ 1247 W
FACTOR DE CARGA (FC) W	1	0.8	0.8	
PERDIDAS TOTALES (PT) kW	1,597	1,348	955	↓ 642 kW
PERDIDAS TOTALES (PT)/AÑO kW	13,990	11,808	8,366	↓ 5,624 kW
COSTO PT/AÑO (\$5.5/kWh)	\$ 76,943	\$ 64,947	\$ 46,012	\$ ↓ 30,932 Pesos
COTO PT VIDA DEL TRANSFORADOR (20 años)	\$ 1,538,869	\$ 1,298,933	\$ 920,238	\$ ↓ 618,631 Pesos

Ventajas Económicas y Sustentables

DATOS	FABRICACION ANTES 2000	FABRICACION ANTES 2000 con factor carga 80 %	NOM 002-SEDE/ENER-2014	DIFERENCIA
CAPACIDAD	112.5	112.5	112.5	kVA
PÉRDIDA EN VACIO (PV) W	454	454		↓ 454 W
PÉRDIDAS DE CARGA (PC) W	1,818	1,454		↓ 1454 W
FACTOR DE CARGA (FC) W	1	0.8	0.8	
PERDIDAS TOTALES (PT) kW	2,272	1,908	955	↓ 953 kW
PERDIDAS TOTALES (PT)/AÑO kW	19,903	16,714	8,366	↓ 8,348 kW
COSTO PT/AÑO (\$5.5/kWh)	\$ 109,465	\$ 91,927	\$ 46,012	\$ ↓ 45,916 Pesos
COTO PT VIDA DEL TRANSFORADOR (20 años)	\$ 2,189,299	\$ 1,838,549	\$ 920,238	\$ ↓ 918,311 Pesos

La actual NOM considera un incremento promedio de 0.31 puntos porcentuales de la eficiencia correspondiente a una disminución del orden del 31% y 29% de las pérdidas totales de transformadores de distribución. Esto trae como consecuencia, que no es conveniente reparar transformadores de distribución que estén fuera de la NOM-002-SEDE-1999, es decir con fecha de fabricación anterior al año 2000, ya que a costo actual un transformador de 112.5 kVA que en promedio es de \$73,000.00, es pagado en aproximadamente 1.6 años por la pérdidas que dejarían de producir, considerando un equipo fabricado con la NOM-002-2014

Se propondrá para la CFE-K000014, considere el año de fabricación como detonante para que se NO se realice el mantenimiento a transformadores dañados con fecha de fabricación anterior al año 2000, derivado del resultado que nos arrojó el análisis considerando las altas pérdidas de estos equipos. Con ello se evitara regresar a operación equipos con altas perdidas. Queda sujeto al estudio de cada caso para reparación de equipos con fecha de fabricación entre 2000 a 2014, considerando los criterios indicados en el procedimiento para la reparación de equipo eléctrico en el sentido de mantenimiento mayor. Cabe destacar que seria de gran aportación a la disminución de perdidas el retiro de los equipos en forma gradual que se fabricaron antes de la NOM-002-SEDE-ENER-2014.