



SECCION MEXICO

La organización profesional técnica más grande del mundo para el avance de la tecnología



mexico.section@ieee.org

Tel.: (55) 5395-2222

[CONTACTO IEEE](#)



Trigésima Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial



MEMORIA TÉCNICA



EXPO-FORUM-RESORT-SPA-PROMENADE
ACAPULCO DIAMANTE

EXPO MUNDO IMPERIAL

- 200 PONENCIAS
- 350 CONFERENCIAS
- 50 CONFERENCIAS MAGISTRALES
- 15 SESIONES PANEL
- 10 CURSOS TUTORIALES
- 4.000.00 M2 DE EXHIBICION
- 22 SALAS DE CONFERENCIAS
- AULA MAGNA



EXPO-FORUM-RESORT-SPA-PROMENADE
ACAPULCO DIAMANTE

RESORT MUNDO IMPERIAL

- 814 HABITACIONES Y SUITES
- RESTAURANTES
- ALBERCAS
- PROMENADE
- PASEO GASTRONOMICO Y CULTURAL
- A 700 m DE LA ISLA
- Y MAS

16 al 22 de Julio de 2017. - Acapulco Guerrero

30 AÑOS CONSTRUYENDO EL FUTURO DEL SECTOR ELÉCTRICO

APLICACIONES INDUSTRIALES

CONTROL SUPERVISORIO Y AUT.

DISTRIBUCION

EDUCACION

ELECTRONICA DE POTENCIA

GENERACION

GERENCIA DE INGENIERIA

PROTECCIONES

SISTEMAS DE POTENCIA

SUBESTACIONES

TRANSFORMADORES

TRANSMISION



SECCION MEXICO

La organización profesional técnica más grande del mundo para el avance de la tecnología



mexico.section@ieee.org

Tel.: (55) 5395-2222

[CONTACTO IEEE](#)



Trigésima Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial



TRANSFORMADORES

[PONENCIA No. 24.pdf](#)

[PONENCIA No. 111.pdf](#)

[PONENCIA No. 122.pdf](#)

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN**TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN TÍPICOS**

Arizpe Islas Jorge L.

UANL-FIME

Cervantes Vega Juan R.

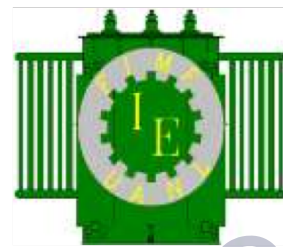
UANL-FIME

RESUMEN

Con el propósito de conocer cuáles han sido las repercusiones económicas de una posible selección arbitraria de transformadores de distribución utilizados en redes eléctricas industriales, se llevaron a cabo los análisis energéticos correspondientes para evaluar cuantitativamente las pérdidas en los transformadores eléctricos de distribución típicos en aras de promover una nueva era de responsabilidad social, con fundamento y en base a cálculos energéticos.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos se pretende socializar un sistema de contabilidad viable, reporte y evaluación de las pérdidas de vacío y totales en transformadores eléctricos típicos de distribución. Esto con la finalidad de establecer una línea base e identificar, clasificar y tipificar un método de selección de transformadores adecuados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana que permita

sugerir acciones reales y económicamente plausibles para disminuir el impacto económico por el uso de energía eléctrica.



Así mismo, se busca que el estudiante analice y aprenda a seleccionar el equipo eléctrico de calidad indispensable en la distribución de energía eléctrica.

Palabras clave: pérdidas, transformador eléctrico de distribución.

INTRODUCCIÓN

Es evidente, que el consumo promedio de los habitantes de México y de acuerdo a su poder adquisitivo, muestra tendencias crecientes en todos los órdenes, sobre todo en los países desarrollados e incluso en aquellos emergentes. Por lo que, fluye más energía y materiales hoy que algunas

décadas atrás, y no es factible vaticinar un buen auguro para un futuro próximo, cuando la tendencia de este consumo sigue en incremento.

Considerando el inminente incremento en la población de México de 60.8724 millones de habitantes en año de 1975¹ a 127.0172 millones de habitantes en el 2015², esto equivale a tener una tasa de crecimiento media anual de la población 2.086%, y su respectivo aumento en infraestructura; áreas ocupadas por inmuebles, vialidad, recreación, etc., así como, mayores requerimientos energéticos, tales como: electricidad, combustibles para el transporte y mayor volumen de agua necesaria para riego y para consumo humano. El lado positivo es que esto se debería de traducir en mayores empleos y mayores requerimientos de energía eléctrica.

Infraestructura eléctrica y “consumo” de electricidad: flujo de energía

Una vez que todos los circuitos alimentadores cuenten con medidores de electricidad, lo cual no siempre es factible, ver Figura 1, será posible determinar cuáles son las “entradas” de energía y las “salidas”, ver Figura 2.

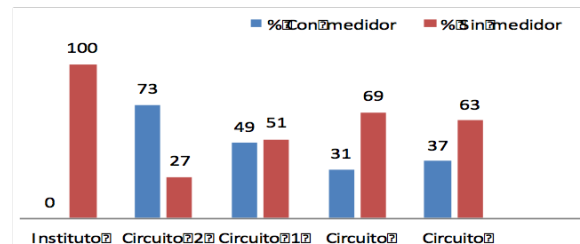


Fig. 1. Medición de energía eléctrica en distintos circuitos alimentadores de una Universidad estatal³

Por mencionar un ejemplo de medición, en un año una universidad estatal puede utilizar aproximadamente 80 millones de kilowatts-hora (kWh), lo que se refleja en un gasto de 125MP en el año 2013⁴, y al tomar en cuenta que por cada kWh se generan 0.80Kgr de gases de efecto invernadero y equivale a la tala de cuatro árboles o el consumo de 246 litros de petróleo, además de emitir a la atmosfera

¹ Número de habitantes en el 2010, en Estados Unidos Mexicanos
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/default.aspx?tema=me&e=09>

² Datos de Banco Mundial, Última actualización: 6 feb. 2017
<http://www.bancomundial.org/>

³ Secretaría de Investigación, Innovación y Sustentabilidad, UANL.
<http://sds.uanl.mx>

⁴ CFE > Industria > Conoce tu tarifa > Consulta tu tarifa
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAMT&Anio=2013

0.596Kg de bióxido de carbono (CO₂)⁵, entonces esto significa que se emitieron casi 48000Tons de CO₂ tan solo en una universidad.



Fig. 2. Flujo de energía en una Institución

Evidentemente, la tendencia al incremento de la población en un futuro próximo hace que la tendencia del requerimiento de energía eléctrica esté a la alza. Empero, al modificar los patrones de conducta y hábitos de consumo, así como poner más atención en la adquisición de equipo de alta eficiencia energética, ésta tendencia podrá mejorarse. De ésta forma, se tendrá una disminución en los gastos asociados a las pérdidas en energía eléctrica.

En éste documento se analiza uno de los circuitos de la universidad con transformadores eléctricos cuyas características son mostradas en la Tabla 1. Cabe mencionar que por definición un transformador de distribución es aquel que cumple con las características específicas

de los transformadores eléctricos de distribución de 10 hasta 500kVA⁶.

Es en este sentido, es que se tiene que mejorar la forma en cómo se selecciona un transformador de distribución utilizado en la mayoría de las subestaciones eléctricas para instituciones educativas del país ya que el costo de operación está directamente relacionado con las pérdidas totales del mismo.

Tabla 1. Capacidad de los Transformadores trifásicos, Clase de Aislamiento < 15KV Típico

Capacidad en kVA	Cantidad
75	1
225	4
300	5
500	3
750	2
1000	1
Total	16

Energía Eléctrica y costo de Pérdidas totales y de vacío

Considerando que de manera general, el concepto de Potencia está determinada por la expresión

$$P = E/t \tag{1}$$

⁶ Productos eléctricos-Transformadores-Transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación-Especificaciones. http://www.ance.org.mx/documentos/DATCER-56_R4.pdf

⁵ Cálculo del FIDE con datos de Comisión Federal de Electricidad www.cfe.gob.mx 2006.

donde:

t es el tiempo en segundos(s);

E es la energía es Joules(J);

P es la potencia en Joules/segundo ($J \cdot s^{-1}$).

Al definir $1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newton} \cdot \text{m}$, entonces $1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ Newton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, por lo que $1 \text{ Newton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ Watt}$. De esta forma, en términos de Electricidad, la Energía Eléctrica está determinada por

$$\therefore E = Pt \quad (2)$$

donde:

t es el tiempo en múltiplos de 3,600s(h);

P es la potencia en miles de Watts (kW);

E es la energía eléctrica en kWh .

Se debe observar que la energía eléctrica, como cualquier otra energía, cumple con el precepto popular de la Conservación de la energía “*la energía no se crea ni se destruye...*” a lo que yo agregaría ni se ahorra, ya que si se requiere energía eléctrica el termino t en la expresión (2) es distinto de cero y en caso de no requerirla t sería cero y por ende E también.

En este trabajo se maneja la expresión (2) para determinar las pérdidas de vacío y totales en transformadores de distribución.

Eficiencia y Pérdidas

El porcentaje la eficiencia en transformadores de distribución de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución, esta terderminado por la siguiente expresión η

$$\text{Eficiencia}(\eta) = (Ps/Pe) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{y } Pe = (Ps + pc + pv)$$

donde:

Ps es la potencia de salida en W (capacidad nominal);

Pe es la potencia de entrada en W ;

pc son las pérdidas debidas a la carga en W ;

pv son las pérdidas en vacío en W .

En la Figura 1, se muestran los resultados del cálculo de las pérdidas en trasformadores y el porcentaje la eficiencia en transformadores de distribución de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana.

De la Figura 3, que se obtuvo a partir de la NOM-002-SEDE-1999, se debe observar que las pérdidas en vacío de los transformadores monofásicos y trifásicos no guardan una relación lineal con las totales o la eficiencia, ver Figura 3. Por lo que, tener una eficiencia relativamente alta es una condición necesaria pero no suficiente para tener pérdidas totales

relativamente bajas. Así mismo, los seis transformadores cuya capacidad es menor a 75kVA disminuyen sus pérdidas en vacío conforme se aumenta su eficiencia, empero para el caso de 75kVA o más estas pérdidas se incrementan aún más que en aquellos transformadores de menor capacidad.

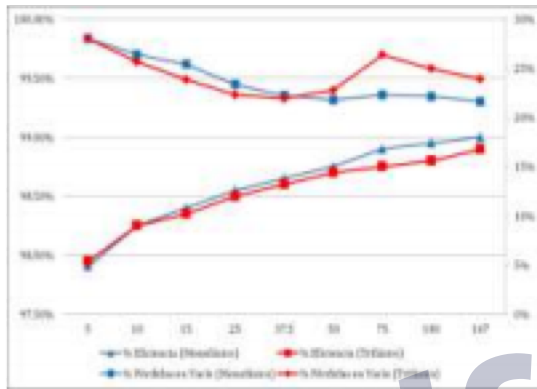


Fig. 3. Porcentaje de eficiencia y Pérdidas Totales máximas permitidas en Transformadores de Distribución⁷

En la Figura 4 se muestran los resultados de los cálculos de eficiencia en los distintos transformadores trifásicos utilizados en este documento de acuerdo a su capacidad para distintas condiciones de operación de acuerdo a la cantidad de pérdidas máximas permitidas, las cuales van desde un ciento por ciento hasta un doscientos por ciento.

Se debe observar que el rango de valores para la eficiencia no es menor a un 97% llegando a ser de hasta un 99%. Lo cual es un valor muy elevado a pesar de que se tienen como máximo un 200% de las pérdidas permitidas por la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.

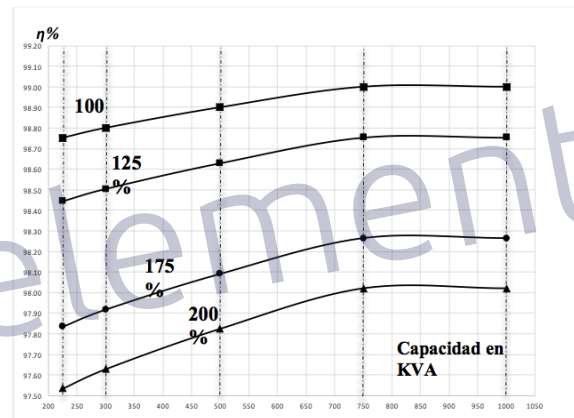


Fig. 4. Eficiencia Vs capacidad en transformadores trifásicos

De esta forma, es necesario evaluar el costo de estas pérdidas en función de la tarifa eléctrica. En la figura 5, se muestran las pérdidas en kWh por mes en los distintos transformadores para las mismas condiciones de diseño.

⁷NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. Datos obtenidos del Diario Oficial de la Federación http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5224693&fecha=15/12/2011

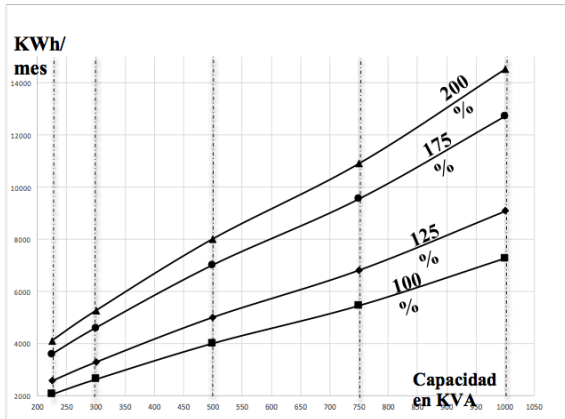


Fig. 5. Pérdidas de Energía Eléctrica Vs capacidad en transformadores trifásicos

En la Figura 6, se muestran las tendencias de la eficiencia y pérdidas totales en función de la capacidad de los transformadores trifásicos con distintas condiciones de diseño.

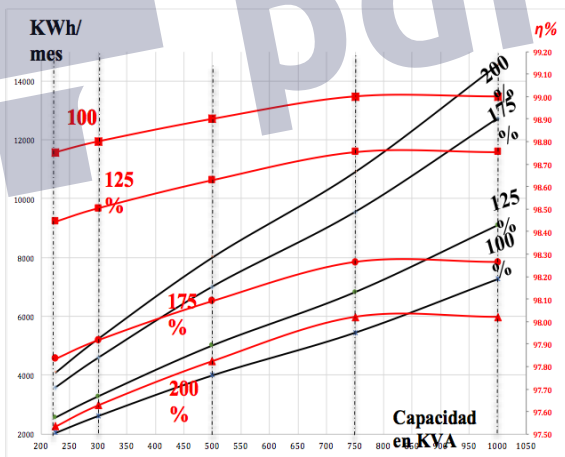


Figura 6. Eficiencia y Pérdidas de Energía Eléctrica Vs capacidad en transformadores

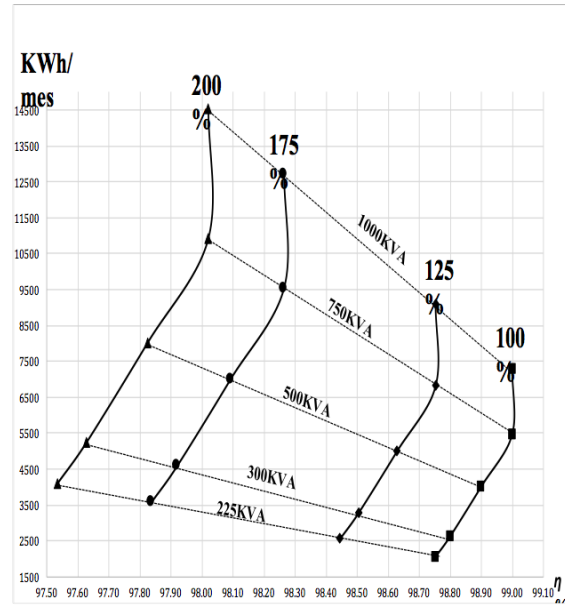


Fig. 7. Pérdidas de Energía Eléctrica Vs eficiencia en transformadores trifásicos

En la Figura 7, se muestra como las pérdidas esta en función de la eficiencia para las distintas capacidades de los transformadores trifásicos bajo diferentes condiciones de diseño.

Costo de la Energía Eléctrica

Pese de los intentos de disminuir el costo de la energía eléctrica por parte de órganos gubernamentales históricamente éste obedece al precio de la fuente primaria de energía y que en México ésta la constituye el petróleo y sus derivados, por lo que su precio determina el de la energía eléctrica.

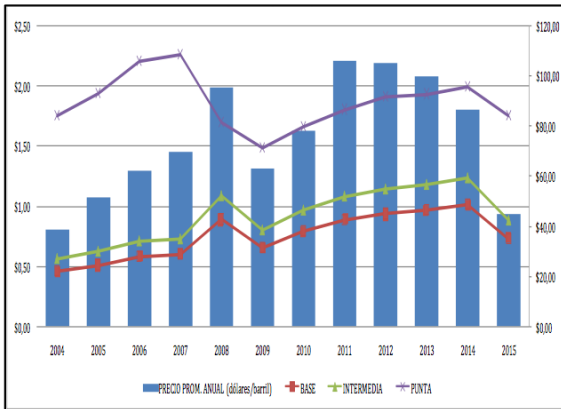


Fig. 8. Cuotas promedio (MN) aplicables a una de las Tarifas de Electricidad H-M⁸ y Precio Anual (dolares/barril) del Petróleo Crudo 2004-2015⁹

En la Figura 8, se muestra la evolución del precio del barril de petróleo en México y su evidente influencia sobre el precio de la electricidad.

En la Figura 9 se puede apreciar como el requerimiento de energía eléctrica en un periodo de tres años para el mismo ejemplo que se está tratando en este documento.

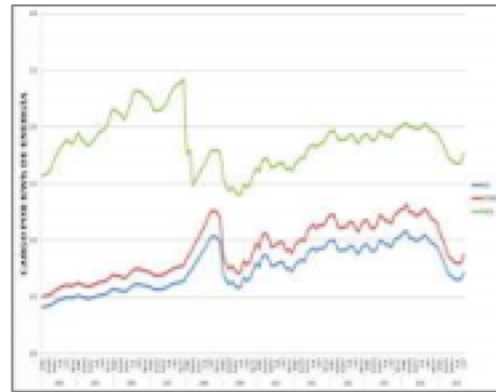


Fig.9. Cuotas aplicables por mes de la Tarifa H-M (2004-2015)

En la Figura 10, se aprecia que el promedio la energía Base es del 16.25% mientras que en Intermedia y Punta son de un 74.5% y 9% respectivamente, por lo que su costo no es una función directa ni constante.

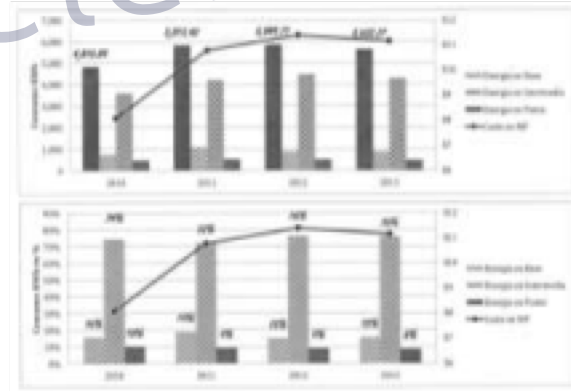


Fig. 10. Desglose del requerimiento de Energía Eléctrica

Para este documento se considera un costo promedio de la energía eléctrica de 1.1177 (\$/kWh). La Tarifa horaria (Tarifa H-M) para servicio general en media tensión, con

⁸ CFE > Industria > Conoce tu tarifa > Consulta tu tarifa http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAMT&Anio=2015

⁹ EXPORTACIONES DE PETRÓLEO CRUDO 1974 - 2015. <http://www.mexicomaxico.org/Voto/PetroCrudo.htm>

demanda de 100 kW o más¹⁰. Se recomienda ver el concepto de **Tensión eléctrica** de la Norma Oficial Mexicana¹¹.

Costo de las Pérdidas de Energía Eléctrica

Los costos de las pérdidas de vacío en un transformador trifásico de 225kVA y 500kVA, Clase de Aislamiento < 15KV Típicos, utilizados en este ejemplo, se muestran en las Tabla 2, 4, 3 y 5 respectivamente.

Tabla 2. Costos de Pérdidas de Vacío en Transformador trifásico de 225KVA

Pérdidas en vacío (%)	(Watts)	Eficiencia (%)	Energía Mensual (KWh)	Costo Mensual (MN)	Costo en 15 años (MN)
100	750	99.01	540	\$603.61	\$108,650.08
125	938	98.77	675	\$754.51	\$135,812.60
175	1313	98.28	945	\$1,056.32	\$190,137.64
200	1500	98.04	1080	\$1,207.22	\$217,300.16

Tabla 3. Costos de Pérdidas de Vacío en Transformador trifásico de 500kVA

Pérdidas en vacío (%)	(Watts)	Eficiencia (%)	Energía Mensual (KWh)	Costo Mensual (MN)	Costo en 15 años (MN)
100	1330	98.26	957.6	\$1,070.40	\$192,672.81
125	1663	97.83	1197	\$1,338.01	\$240,841.02
175	2328	96.99	1675.8	\$1,873.21	\$337,177.42
200	2660	96.57	1915.2	\$2,140.81	\$385,345.63

¹⁰ Tarifa H-M, que se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso...
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM

¹¹ NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5224693&fecha=15/12/2011

Tabla 4. Costos de Pérdidas Totales en Transformador trifásico de 225kVA

Pérdidas Totales (%)	(Watts)	Energía Mensual (KWh)	Costo Mensual (MN)	Costo en 15 años (MN)
100	2,844	2047.68	\$2,288.90	\$412,001.11
125	3,555	2559.60	\$2,861.12	\$515,001.39
175	4,977	3583.44	\$4,005.57	\$721,001.95
200	5,688	4095.36	\$4,577.79	\$824,002.22

Tabla 5. Costos de Pérdidas Totales en Transformador trifásico de 500kVA

Pérdidas Totales (%)	(Watts)	Energía Mensual (KWh)	Costo Mensual (MN)	Costo en 15 años (MN)
100	5,561	4003.92	\$4,475.58	\$805,604.14
125	6,951	5004.90	\$5,594.47	\$1,007,005.18
175	9,732	7006.86	\$7,832.26	\$1,409,807.25
200	11,122	8007.84	\$8,951.16	\$1,611,208.29

En la Figura 10, se contabilizan las pérdidas totales en transformadores de distribución analizados en este documento y se debe observar que tan solo para el transformador de 500kVA se pueden llegar a tener pérdidas por 2.4MP o de 4.8MP en tan solo 15 años.

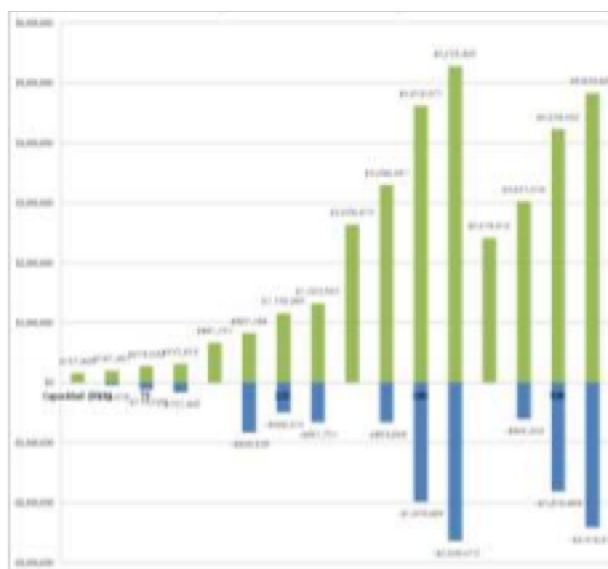


Fig. 10. Costo de las pérdidas totales del total de unidades en 15 años

Por lo que, para el circuito bajo estudio se tendrían pérdidas con un costo total de 508MP en 15 años y si no se presta atención a estos detalles estas pueden ascender a 11.7MP incrementando significativamente el gasto por concepto de suministro de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

Al tener un mayor requerimiento de energía eléctrica en el país mayor deberá ser el compromiso en los ingenieros de diseño de proyectos, contratistas y docentes, ya que el seleccionar un transformador eléctrico de forma casi arbitraria tomando como referencia la capacidad del mismo puede cometerse un error que a la larga puede repercutir en millones de pesos. Para este documento, el costo diferencial en 15 años entre seleccionar un conjunto de transformadores con bajas pérdidas y otro que no puede llegar a ser de 5.8MP.

Es necesario contar con sistema completo de medición en cada uno de los circuitos ya que de otra forma no será posible determinar el efecto de la selección el transformador más adecuado para la

instalación, es decir, se puede sobre dimensionar la capacidad del mismo sin considerar el efecto de las pérdidas analizado en este documento cuidando solo la eficiencia.

Es en este sentido que se debe tener especial atención en la relación que existe entre la capacidad del transformador, las pérdidas y la eficiencia ya que por definición esta siempre va a ser un número

que oscila entre 95 y 100% lo cual es aparentemente muy bueno.

REFERENCIAS

- Secretaría de Investigación, Innovación y Sustentabilidad, UANL. <http://sds.uanl.mx>
- CFE > Industria > Conoce tu tarifa > Consulta tu tarifa http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAMT&Anio=2013
- Cálculo del FIDE con datos de Comisión Federal de Electricidad www.cfe.gob.mx 2006.
- Productos eléctricos-Transformadores-Transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación-Especificaciones.

- http://www.ance.org.mx/documentos/DAT_CER-56_R4.pdf
- NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. Datos obtenidos del Diario Oficial de la Federación http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5224693&fecha=15/12/2011
 - CFE > Industria > Conoce tu tarifa > Consulta tu tarifa http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAMT&Anio=2015
 - EXPORTACIONES DE PETRÓLEO CRUDO 1974 - 2015. <http://www.mexicomaxico.org/Voto/PetroCrudo.htm>
 - Tarifa H-M, que se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso... http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM
 - NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEDE-2010, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5224693&fecha=15/12/2011
 - Número de habitantes en el 2010, en Estados Unidos Mexicanos <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/default.aspx?tema=me&e=09>
 - Datos de Banco Mundial, Última actualización: 6 feb. 2017 <http://www.bancomundial.org/>

BIBLIOGRAFÍAS

Ing. Jorge Luis Arizpe Islas, Ingeniero Mecánico Electricista y profesor de la FIME-UANL, Maestro en Ciencias con especialidad en Potencia Eléctrica de la UANL, jorge.arizpei@uanl.mx

MC. Juan Rafael Cervantes Vega, PTC y Coordinador General de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Maestro en Ciencias con especialidad en Potencia Eléctrica de la UANL, juan.cervantesv@uanl.mx