



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAMINO A LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

TEMA: ESTUDIO DE LA CALIDAD DE PRODUCTO, ANÁLISIS DE PÉRDIDAS TÉCNICAS, NO TÉCNICAS Y MODELACIÓN EN UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN ELÉCTRICA DEL ALIMENTADOR PRIMARIO N°3 05LA13B1S3 CHASQUI-SAN AGUSTÍN DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI ELEPCO S.A.

AUTORES:

GALO ARTURO FABARA VARGAS
ELIZABETH MARIBEL PATIÑO UMAGINGA

DIRECTOR:

ING. ERNESTO ABRIL.

Latacunga, Diciembre de 2015



INTRODUCCIÓN

- Las empresas distribuidoras de energía eléctrica son encargadas de dotar de energía de calidad a todos sus clientes. Es por esta razón que hemos realizado un estudio sobre la calidad de producto técnico considerando las variables eléctricas de voltaje, distorsión armónica, flickers y factor de potencia. Y determinando pérdidas de potencia en el alimentador, transformadores y pérdidas de voltaje en el circuito primario y secundario en el sistema. Dando una alternativa de solución.



ANTECEDENTES

- El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la automatización, en especial la electrónica de potencia ha producido una generación de equipos de alta capacidad, rendimiento y bajo costo siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico. El problema no sólo se presenta en el usuario propietario de los equipos que generan los armónicos, sino que a través de las líneas de distribución y de transmisión puede propagarse a otros usuarios de la red eléctrica. En un principio las Empresas Eléctricas de distribución su objetivo primordial era dotar de servicio eléctrico al mayor número de consumidores que sea posible sin tomar en cuenta la calidad del servicio eléctrico ofrecido.



ANTECEDENTES

- Debido a que las pérdidas de energía en las empresas distribuidoras muestran problemas de importancia, los porcentajes de pérdidas son elevados lo que implica un despilfarro de recursos afectando también a la colectividad, dando lugar a la aparición de las pérdidas técnicas y no técnicas. Las pérdidas técnicas son un resultado de los criterios de planificación, diseños empleados en el pasado y de las características físicas del sistema que tiene por la operación y mantenimiento. Además provoca lo que es mal dimensionamiento de calibres de conductores, subdimensionamiento de transformadores y luminarias ineficientes.



ANTECEDENTES

- Las pérdidas no técnicas involucran las dificultades que presentan la facturación y medición junto con el cobro del servicio eléctrico y el no cobro por los fraudes de energía esto se obviara con lecturas automáticas o con sistemas de medida prepago.



OBJETIVOS

Determinar la calidad de energía eléctrica en el alimentador primario N°3 de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. mediante el cálculo de los índices de las variaciones de voltaje, factor de potencia, armónicos, pérdidas técnicas y no técnicas y la modelación del sistema, para determinar las variables eléctricas actuales.

ESPECÍFICOS

- Analizar el número de transformadores conectados al alimentador primario N°3 para la obtención de la muestra.
- Realizar mediciones a la salida del alimentador y en las partes representativas mediante registradores digitales.
- Realizar la modelación del alimentador primario en el software de simulación eléctrica ETAP.



OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis de producto técnico (variación de voltaje, perturbaciones, armónico, factor de potencia) que se presentan en el alimentador.
- Determinar de las pérdidas técnicas y no técnicas.
- Proponer una alternativa de solución a la empresa para mejorar la operación del alimentador.



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

CARACTERÍSTICAS DEL ALIMENTADOR

- El Alimentador N°3 Chasqui-San Agustín tiene un recorrido radial, de cuya operación, distribución y comercialización se ha encargado la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. El alimentador cuenta con número total de transformadores de 142 de los cuales 103 son monofásicos y 39 son trifásicos, cabe resaltar que no todos los transformadores son propios de la Empresa Eléctrica, algunos de estos son privados de empresas particulares.
- La carga a la que alimenta este alimentador es del tipo netamente residencial y con algunos consumidores industriales, y lo hace por medio de transformadores 1Ø (240/120 V a tres hilos 2 fases 1 neutro) y 3Ø (220/127 V a cuatro hilos 3 fases 1 neutro) de tipo Convencionales y Autoprotegidos.



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

CARACTERÍSTICAS DEL ALIMENTADOR

| Número Total de Transformadores | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------------|
| Montaje | Tipo de transformador | Potencia | # De Transformador por tipo |
| Poste | Monofásico | 5 | 103 |
| | | 10 | |
| | | 15 | |
| | | 25 | |
| | | 37,5 | |
| | | 50 | |
| | Trifásico | 30 | 39 |
| | | 45 | |
| | | 50 | |
| | | 75 | |
| | | 100 | |
| | | 112,5 | |
| | | 125 | |
| Cabina | 150 | 39 | |
| | 160 | | |
| Total de transformadores | | | 142 |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

POBLACIÓN Y MUESTRA

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{(N - 1) \times \left(\frac{E^2}{4}\right) + \sigma^2}$$

n: Tamaño de la muestra.

N: Población.

σ : Desviación estándar de la población.

E: error de estimación.

Debido que la Empresa Eléctrica nos facilitó 11 registradores por un tiempo mínimo la muestra se realizó sacando el 10% de la capacidad de los transformadores como se muestra en la siguiente ecuación. Se muestra en la tabla el total de transformadores para ser analizados en el estudio, Obteniendo 11 transformadores como muestra.



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

$$m=NT \times 0,10$$

| KVA | Número Total | Muestra | Redondeo |
|--------------|--------------|---------|----------|
| 5 | 11 | 1,1 | 1 |
| 10 | 24 | 2,4 | 2 |
| 15 | 14 | 1,4 | 1 |
| 25 | 16 | 1,6 | 2 |
| 30 | 4 | 0,4 | 0 |
| 37,5 | 14 | 1,4 | 1 |
| 45 | 30 | 3 | 3 |
| 50 | 4 | 0,4 | 0 |
| 75 | 4 | 0,4 | 0 |
| 100 | 14 | 1,4 | 1 |
| 112,5 | 3 | 0,3 | 0 |
| 125 | 1 | 0,1 | 0 |
| 150 | 2 | 0,2 | 0 |
| 160 | 1 | 0,1 | 0 |
| Total | 142 | Total | 11 |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD DE PRODUCTO

- PUNTOS DE MEDICIÓN ([anexo A](#))

| TRANSFORMADORES PUNTO DE MEDICIÓN | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------|-----------|------|---------|
| Transformador | Dirección | Código | Capacidad | Fase | Usuario |
| 1 | Mulaló | 8622 | 5 | C | 7 |
| 2 | Mulaló | 8617 | 10 | B | 22 |
| 3 | Mulaló | 8620 | 10 | B | 16 |
| 4 | Mulaló | 5414 | 15 | A | 21 |
| 5 | Mulaló | 2647 | 25 | B | 34 |
| 6 | Mulaló | 2680 | 25 | B | 27 |
| 7 | San Juan de pastocalle | 8644 | 37,5 | B | 34 |
| 8 | San Juan de pastocalle | 8289 | 45 | ABC | 27 |
| 9 | San Juan de pastocalle | 8290 | 45 | ABC | 38 |
| 10 | San Juan de pastocalle | 8292 | 45 | ABC | 38 |
| 11 | San Juan de pastocalle | 9951 | 100 | ABC | 30 |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD DE PRODUCTO

- USUARIOS DE BAJO DE VOLTAJE (ANEXO B)
- EQUIPOS DE MEDICIÓN FLUKE 1744
- NIVELES DE VOLTAJE

| | |
|-----------------------|--------------|
| Bajo Voltaje. Urbanas | $\pm 3,50\%$ |
| Bajo Voltaje. Rurales | $\pm 5,00\%$ |

- FLICKERS

$P_{st} \leq 1$

- THD DE VOLTAJE

| | |
|-----|----------------------|
| | Voltaje ≤ 40 KV |
| THD | $\leq 8 \%$ |

- FACTOR DE POTENCIA

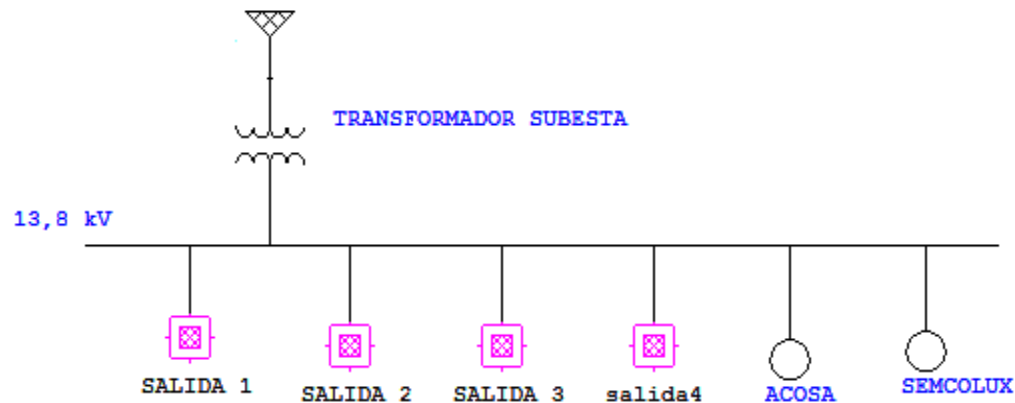
$F_p = 0,92$



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

MODELACIÓN EN ETAP

- Parámetros para la modelación
 1. Capacidad del transformador de la subestación.
 2. Capacidad nominal de los transformadores del alimentador salida 3 en KVA. (ANEXO C)
 3. Capacidad de la carga distribuida en KVA.



- Diagrama Unifilar ([ANEXO D](#))



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

MODELACIÓN EN ETAP

| Elemento | CYMDIST (Kw) | ETAP (Kw) |
|---------------|--------------|-----------|
| Transformador | 4,15 | 4,6 |

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Pérdidas CYMDIST} - \text{Pérdidas ETAP}|}{\text{Pérdidas CYMDIST}} \cdot 100$$

| Elementos | Error % |
|-----------------|---------|
| Transformadores | 10,84 |

El software ETAP nos permite también ver lo que son pérdidas instantáneas en transformadores y conductores en el reporte en el flujo de carga del sistema. Ver el (ANEXO E) reporte de pérdidas.



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

PÉRDIDAS

▪ SELECCIÓN EN EL CASO DE ESTUDIO

En acuerdo con el personal Departamento de Planificación de ELEPCO S.A se procede a realizar el estudio del alimentador N°3 de la Subestación Lasso, se conoce:

- Las corrientes, voltajes, factores de potencia y potencias diarias.
- Las longitudes, tipo y calibre del conductor del circuito primario y secundario.
- Las capacidades de los transformadores, número de clientes y luminarias que abastece el transformador.
- **DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ESTRATO**

El 70% de la demanda son usuarios residenciales por lo que la demanda máxima del alimentador es **1257 KVA**

$$Y_1 = Y_0 + \frac{Y - Y_0}{X - X_0} (X_1 - X_0)$$



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

X_0 : Usuario en la antepenúltima posición.

Y_0 : Factor de diversidad en la antepenúltima posición.

X : Usuario en la penúltima posición.

Y : Factor de diversidad en la penúltima posición.

X_1 : Usuario en la última posición.

Y_1 : Factor de diversidad en la última posición.

Aplicamos la siguiente fórmula para encontrar el valor en KVA:

$$DD = \frac{DMU \times N}{FD}$$

DD: es la demanda de diseño.

DMU: es la demanda unitaria del usuario (A, B, C o D)

N: es el número de abonados.

FD: factor de diversidad



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

| ESTRATO | KVA |
|---------|--------|
| A | 1895,3 |
| B | 1267,4 |
| C | 792,6 |
| D | 470,9 |

Analizando los datos obtenidos concluimos que el tipo de usuario que se va a utilizar es el tipo B para el estudio, ya que es el que se acerca a la demanda máxima y además por el uso de las cocinas de inducción. (Ver ANEXO F)

- **PÉRDIDAS EN ENERGÍA EN ALIMENTADORES Y TRANSFORMADORES**



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

Para el cálculo de pérdidas en el alimentador primario y los transformadores de distribución se realizó el mismo procedimiento, puesto que los dos varían de acuerdo a la demanda de carga.

$$D_{pér\ i} = \left(\frac{D_{p\ i} f_{p_{p\ mx}}}{D_{p\ mx} f_{p_{p\ i}}} \right)^2 \cdot D_{pér\ mx}$$

Dónde:

$D_{pér\ i}$ = Pérdidas de potencia resistiva de potencia en el instante i [kW]

$D_{p\ i}$ = Demanda en el instante i [kW]

$D_{p\ mx}$ = Demanda máxima [kW]

$f_{p_{p\ mx}}$ = Factor de potencia en demanda máxima

$f_{p_{p\ i}}$ = Factor de potencia en el intervalo i .

$D_{pér\ mx}$ = Pérdidas resistivas de potencia a demanda máxima [kW]



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

Mientras que las pérdidas de energía se obtienen al sumar las demandas de pérdidas individuales y multiplicar por el intervalo de tiempo.

$$E_{pér} = \sum_{i=1}^n D_{pér i} \Delta t$$

Dónde:

$E_{pér}$ = Energía de pérdidas [kWh]

$D_{pér i}$ = Pérdidas resistivas en el instante i [kW]

Δt = Intervalo de demanda [horas]

| Elemento | $D_{pér i}$ (Kw) |
|---------------|------------------|
| Transformador | 4,6 |
| Alimentador | 6,317 |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

Además a nivel de alimentadores primarios se calcularon dos parámetros eléctricos.

- **Factor de Pérdidas:** Es el porcentaje de tiempo que requiere el valor pico de una carga para producir las mismas pérdidas que las producidas por la carga real en un periodo dado.

$$\text{Factor pér} = \frac{\text{Pérdidas resistivas de potencia promedio}}{\text{Pérdidas resistivas a demanda máxima}}$$

- **Factor de Carga:** Representa las variaciones de la curva de carga, si es un factor alto, la curva de carga tiene pocas variaciones mientras que si el factor es bajo la curva tiene variaciones bruscas.

$$\text{Factor carga} = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}}$$



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

- PÉRDIDAS DE VOLTAJE EN CIRCUITOS PRIMARIOS**

| DATOS | | | | CARGA | LÍNEA | CONDUCTOR | | KVA * Km | CÓMPUTO | |
|-------|--------------|---------------|-----|-----------|-------|-------------|----------------|-------------|-------------|-----------|
| TRAMO | | TRANSFORMADOR | | DD KVA | No. | TAMANO O | FCV Kva* km | | AV% | |
| REF | LONG(Km) | REF | KVA | | FASES | | | | PARCIA L | TOTA L |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

| CALIBRE DEL CONDUCTOR (AWG) | FACTOR FCV (KVA-m) | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------|---------|---------|--------|
| | FASE | NEUTRO | 3 FASES | 2 FASES | 1 FASE |
| 2 | 2 | 1703 | 916 | 458 | |
| 1/0 | 2 | 2469 | 1261 | 630 | |
| 2/0 | 1/0 | 2929 | 1464 | 732 | |
| 3/0 | 2/0 | 3457 | 1695 | 847 | |
| 4/0 | 3/0 | 3999 | 1928 | 964 | |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

- PÉRDIDAS DE VOLTAJE EN CIRCUITOS PRIMARIOS**

| DATOS | | DMUp | CIRCUITO | CONDUCTOR | | | KVA - m | CÓMPUTO | |
|------------|-------------|------|----------|-----------|--------------------|--------|---------|---------|---------|
| TRAMO | | | | CLIENTE | N° DE CONDUCTO RES | TAMAÑO | | FCV | KVA - m |
| REFERENCIA | LONGITUD(m) | 8 | 4 | | | | 5 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | . |
| | | | | | | | | | . |

| CONDUCTOR | FACTOR FCV (KVA-m) | | |
|-----------|--------------------|----------|----------|
| CALIBRE | 120V | 240/120V | 208/120V |
| AWG | 2 | 3 HILOS | 4 HILOS |
| HILOS | | | |
| 2 | 210 | - | - |
| 1/0 | 262 | - | - |
| 2/0 | 345 | - | - |
| 2 | - | 268 | - |
| 1/0 | - | 420 | - |
| 2/0 | - | 524 | - |
| 2 | - | - | 409 |
| 1/0 | - | - | 640 |
| 2/0 | - | - | 799 |



CAMPO DE INVESTIGACIÓN

- **PÉRDIDAS NO TÉCNICAS**

$$L_{NT} = E_{disp} - L_T$$

E_{disp} : Energía disponible estimada.

L_{NT} : Pérdidas no técnicas.

L_T : Pérdidas técnicas calculadas.

Cabe mencionar que estas pérdidas son producidas por:

- Hurto
- Error en la contabilización de energía
- Error en la facturación.



ANÁLISIS Y PROPUESTA

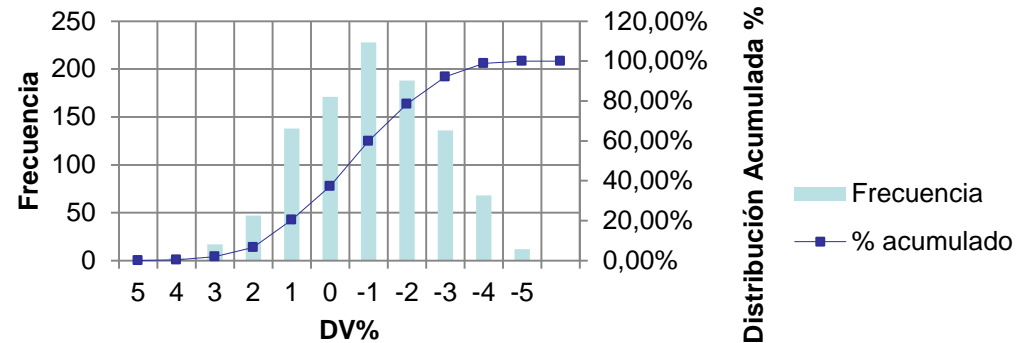
- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L1 | |
|--------------|--------|
| Vmáx | 126,26 |
| Vmín | 118,4 |
| Vpromedio | 122,75 |
| $\Delta V\%$ | 3,35 |

| Clase | Frecuencia | DV % |
|------------|------------|------|
| 0 | 0 | 5 |
| 119,186 | 3 | 4 |
| 119,972 | 17 | 3 |
| 120,758 | 47 | 2 |
| 121,544 | 138 | 1 |
| 122,33 | 171 | 0 |
| 123,116 | 228 | -1 |
| 123,902 | 188 | -2 |
| 124,688 | 136 | -3 |
| 125,474 | 68 | -4 |
| 126,26 | 12 | -5 |
| y mayor... | 0 | |

Histograma de voltaje del Transformador L1



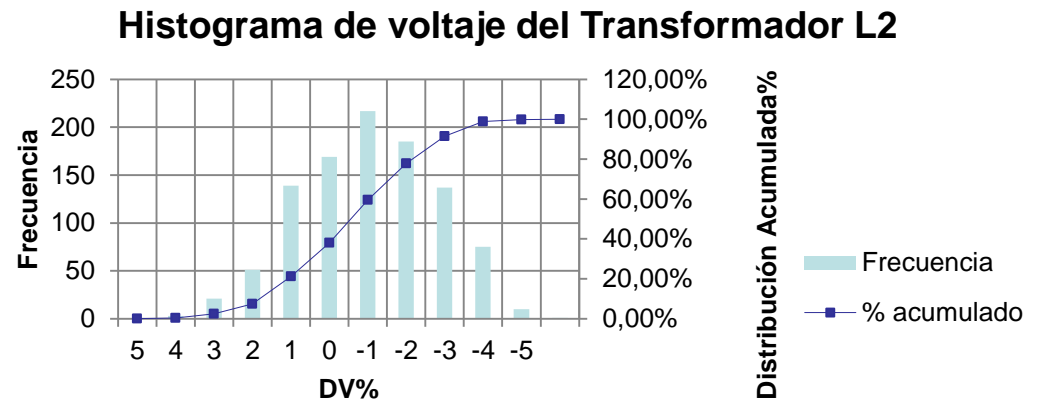
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L2 | |
|--------------|--------|
| Vmáx | 126,47 |
| Vmín | 118,8 |
| Promedio | 123,03 |
| $\Delta V\%$ | 3,12 |

| Clase | Frecuencia | DV % |
|----------|------------|------|
| 0 | 0 | 5 |
| 119,567 | 3 | 4 |
| 120,334 | 21 | 3 |
| 121,101 | 51 | 2 |
| 121,868 | 139 | 1 |
| 122,635 | 169 | 0 |
| 123,402 | 217 | -1 |
| 124,169 | 185 | -2 |
| 124,936 | 137 | -3 |
| 125,703 | 75 | -4 |
| 126,47 | 10 | -5 |
| y | 1 | |
| mayor... | | |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

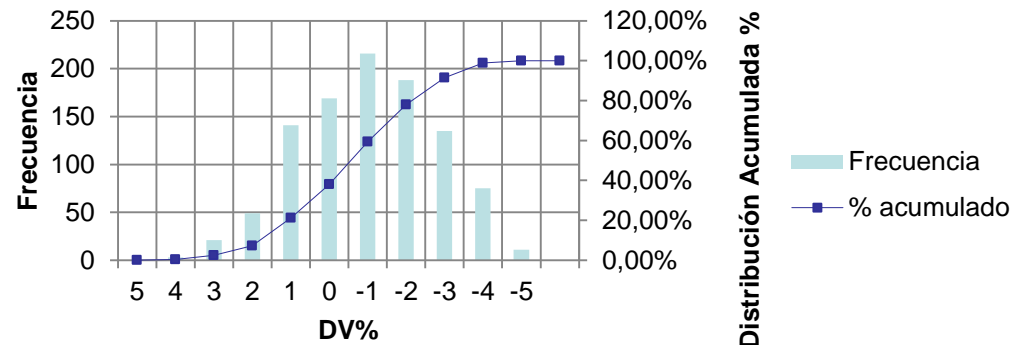
- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L3 | |
|--------------|--------|
| Vmáx | 126,4 |
| Vmín | 118,72 |
| Vpromedio | 122,96 |
| $\Delta V\%$ | 3,18 |

| Clase | Frecuencia | DV % |
|------------|------------|------|
| 0 | 0 | 5 |
| 119,488 | 3 | 4 |
| 120,256 | 21 | 3 |
| 121,024 | 49 | 2 |
| 121,792 | 141 | 1 |
| 122,56 | 169 | 0 |
| 123,328 | 216 | -1 |
| 124,096 | 188 | -2 |
| 124,864 | 135 | -3 |
| 125,632 | 75 | -4 |
| 126,4 | 11 | -5 |
| y mayor... | 0 | |

Histograma de voltaje del Transformador L3



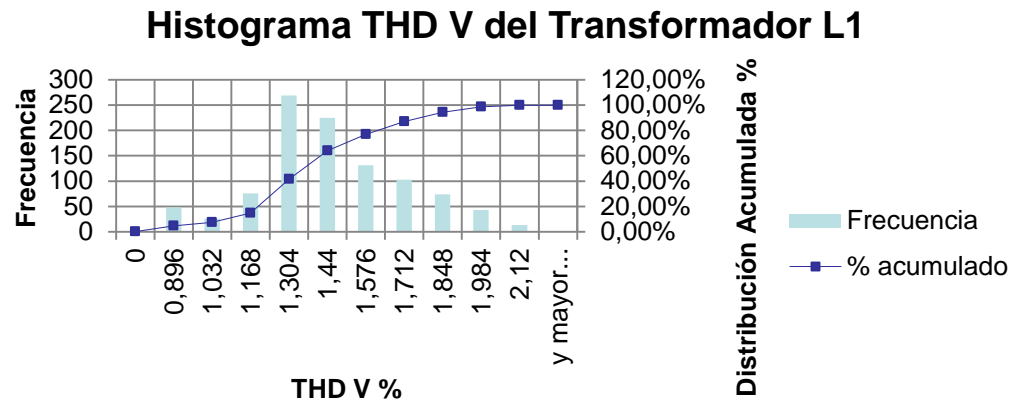
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L1 | |
|----------------|------|
| THD Vmáx | 2,12 |
| THD Vmin | 0,76 |
| THD V promedio | 1,39 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 0 |
| 26 | 48 |
| 1,032 | 26 |
| 1,168 | 76 |
| 1,304 | 269 |
| 1,44 | 225 |
| 1,576 | 131 |
| 1,712 | 103 |
| 1,848 | 74 |
| 1,984 | 43 |
| 2,12 | 13 |
| y mayor... | 0 |



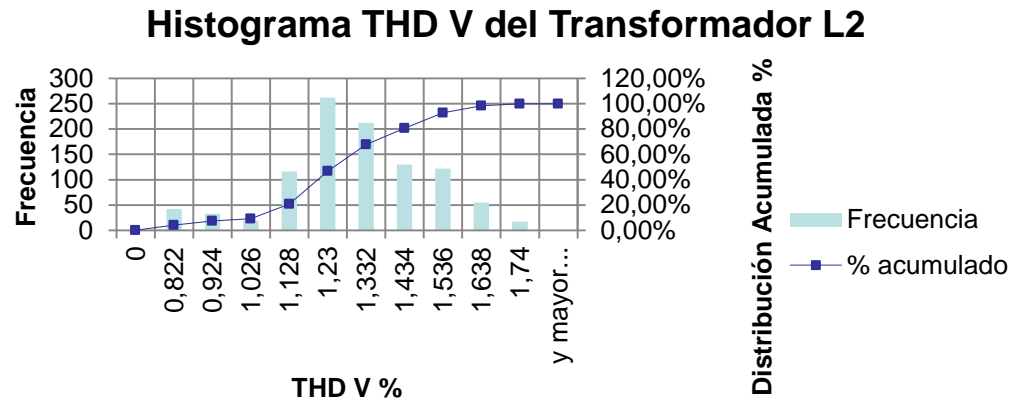
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L2 | |
|----------------|------|
| THD Vmáx | 1,74 |
| THD Vmin | 0,72 |
| THD V promedio | 1,25 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 0 |
| 0,822 | 42 |
| 0,924 | 33 |
| 1,026 | 19 |
| 1,128 | 116 |
| 1,23 | 262 |
| 1,332 | 212 |
| 1,434 | 130 |
| 1,536 | 122 |
| 1,638 | 55 |
| 1,74 | 17 |
| y mayor... | 0 |



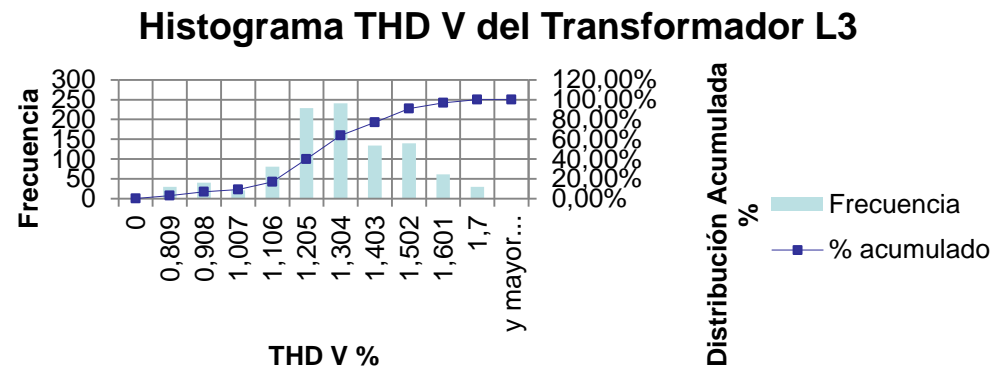
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L3 | |
|----------------|------|
| THD Vmáx | 1,7 |
| THD Vmin | 0,71 |
| THD V promedio | 1,25 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 0 |
| 0,809 | 30 |
| 0,908 | 40 |
| 1,007 | 21 |
| 1,106 | 81 |
| 1,205 | 229 |
| 1,304 | 241 |
| 1,403 | 134 |
| 1,502 | 140 |
| 1,601 | 61 |
| 1,7 | 30 |
| y mayor... | 1 |



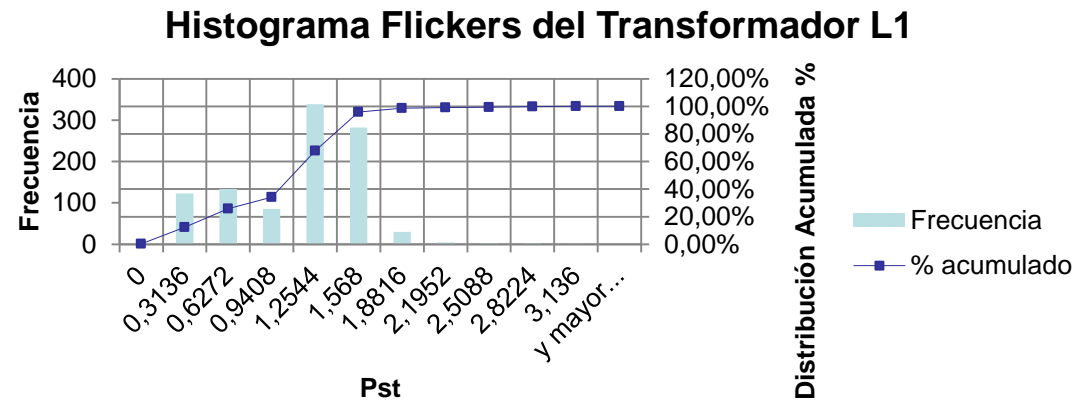
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L1 | |
|--------------|-------|
| Pst máx | 3,136 |
| Pst min | 0 |
| Pst promedio | 0,99 |
| Valores >1 | 605 |
| % | 60,02 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 2 |
| 0,3136 | 123 |
| 0,6272 | 134 |
| 0,9408 | 86 |
| 1,2544 | 339 |
| 1,568 | 282 |
| 1,8816 | 30 |
| 2,1952 | 4 |
| 2,5088 | 3 |
| 2,8224 | 3 |
| 3,136 | 2 |
| y mayor... | 0 |



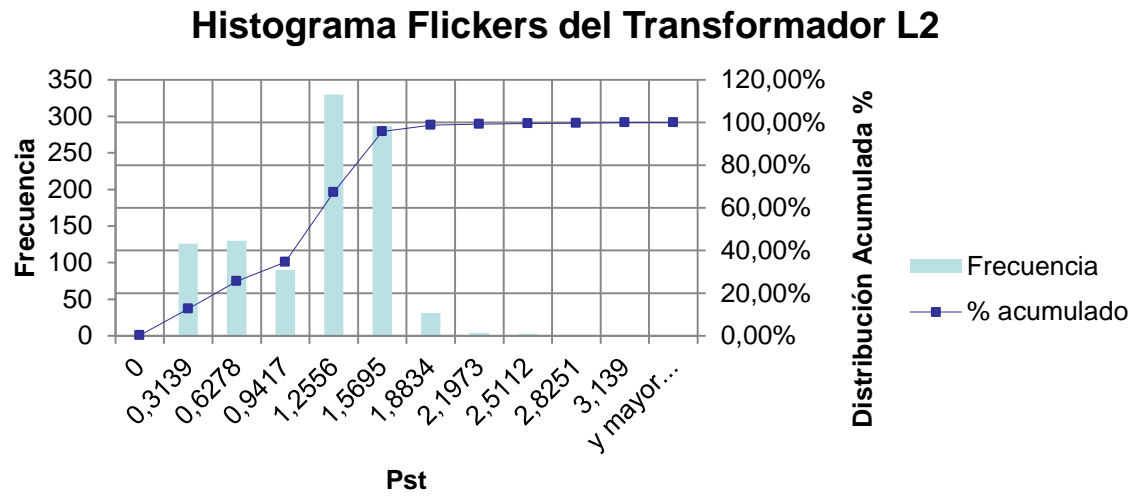
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L2 | |
|--------------|-------|
| Pst máx | 3,139 |
| Pst min | 0 |
| Pst promedio | 0,99 |
| Valores >1 | 603 |
| % | 59,82 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 2 |
| 0,3139 | 126 |
| 0,6278 | 130 |
| 0,9417 | 90 |
| 1,2556 | 330 |
| 1,5695 | 287 |
| 1,8834 | 31 |
| 2,1973 | 4 |
| 2,5112 | 3 |
| 2,8251 | 2 |
| 3,139 | 2 |
| y mayor... | 1 |



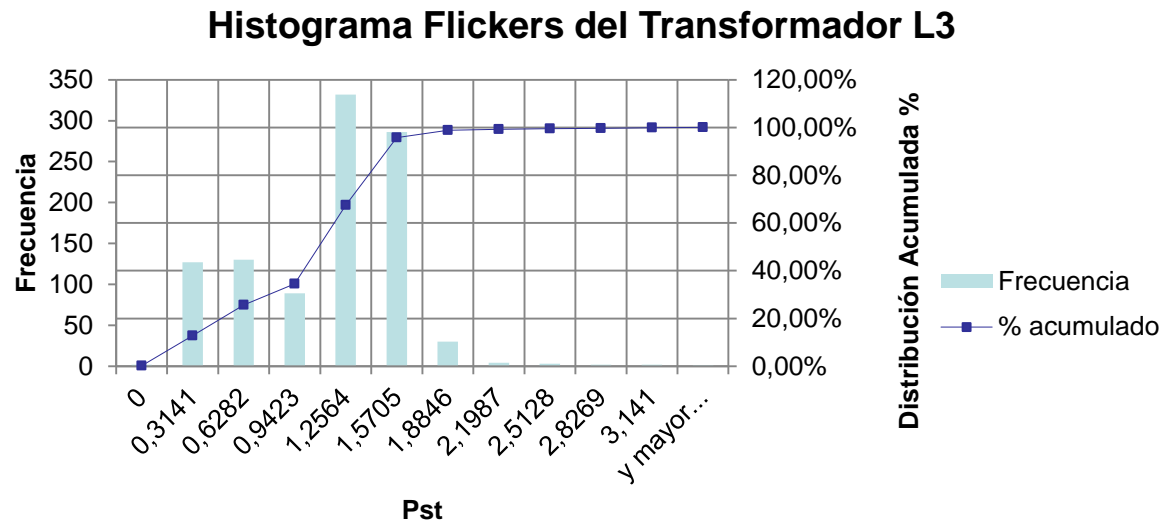
ANÁLISIS Y PROPUESTA

- CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| L3 | |
|--------------|-------|
| Pst máx | 3,141 |
| Pst min | 0 |
| Pst promedio | 5,34 |
| Valores >1 | 603 |
| % | 59,82 |

| Clase | Frecuencia |
|------------|------------|
| 0 | 2 |
| 0,3141 | 127 |
| 0,6282 | 130 |
| 0,9423 | 89 |
| 1,2564 | 332 |
| 1,5705 | 286 |
| 1,8846 | 30 |
| 2,1987 | 4 |
| 2,5128 | 3 |
| 2,8269 | 2 |
| 3,141 | 2 |
| y mayor... | 1 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **CALIDAD DE PRODUCTO**

Transformador 5 KVA 8622 Mulaló

| | |
|-------------|-------|
| FP máx | 0,999 |
| FP min | 0,713 |
| FP promedio | 0,94 |

Sea analizo el factor de potencia total del transformador cuyo valor es 0,94 lo que quiere decir que se encuentra en los rangos establecidos por la regulación 004/01 de 0,92.



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Resultados finales

| Transformadores | ΔV% | | | CUMPLE SI/NO | | |
|-----------------|----------|----------|----------|--------------|----|----|
| | L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| T8622 5KVA | (+4,-5)% | (+4,-6)% | (+4,-5)% | SI | NO | SI |
| T8617 10KVA | (+4,-6)% | (+4,-6)% | (+4,-6)% | NO | NO | NO |
| T8620 10KVA | (+4,-5)% | (+4,-5)% | (+4,-5)% | SI | SI | SI |
| T5414 15KVA | (+4,-5)% | (+4,-5)% | (+4,-6)% | SI | SI | NO |
| T2647 25KVA | (+4,-6)% | (+4,-5)% | (+4,-6)% | NO | SI | NO |
| T2680 25KVA | (+4,-6)% | (+4,-6)% | (+4,-5)% | NO | NO | SI |
| T8644 37.5KVA | (+4,-5)% | (+4,-6)% | (+4,-6)% | SI | NO | NO |
| T8289 45KVA | (+4,-6)% | (+3,-6)% | (+3,-6)% | NO | NO | NO |
| T8290 45KVA | (+4,-5)% | (+3,-5)% | (+1,-5)% | SI | SI | SI |
| T8292 45KVA | (+4,-5)% | (+3,-5)% | (+1,-5)% | SI | SI | SI |
| T9951 100KVA | (+4,-6)% | (+4,-6)% | (+4,-5)% | NO | NO | SI |

| Transformadores | THD V% | | | CUMPLE SI/NO | | |
|-----------------|--------|-------|-------|--------------|----|----|
| | L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| T8622 5KVA | 1,30% | 1,23% | 1,30% | SI | SI | SI |
| T8617 10KVA | 1,60% | 1,30% | 1,62% | SI | SI | SI |
| T8620 10KVA | 1,49% | 1,46% | 1,47% | SI | SI | SI |
| T5414 15KVA | 1,55% | 1,59% | 1,59% | SI | SI | SI |
| T2647 25KVA | 1,57% | 1,49% | 1,50% | SI | SI | SI |
| T2680 25KVA | 1,63% | 1,63% | 1,62% | SI | SI | SI |
| T8644 37.5KVA | 1,48% | 1,35% | 1,35% | SI | SI | SI |
| T8289 45KVA | 1,22% | 1,93% | 1,28% | SI | SI | SI |
| T8290 45KVA | 1,26% | 1,95% | 1,30% | SI | SI | SI |
| T8292 45KVA | 1,29% | 1,87% | 1,28% | SI | SI | SI |
| T9951 100KVA | 1,19% | 1,78% | 1,37% | SI | SI | SI |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Resultados finales

| Transformadores | Flickers % | | | CUMPLE SI/NO | | |
|-----------------|------------|-------|-------|--------------|----|----|
| | L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| T8622 5KVA | 605>1 | 603>1 | 603>1 | NO | NO | NO |
| T8617 10KVA | 597>1 | 599>1 | 599>1 | NO | NO | NO |
| T8620 10KVA | 524>1 | 526>1 | 526>1 | NO | NO | NO |
| T5414 15KVA | 523>1 | 520>1 | 519>1 | NO | NO | NO |
| T2647 25KVA | 508>1 | 513>1 | 513>1 | NO | NO | NO |
| T2680 25KVA | 598>1 | 599>1 | 597>1 | NO | NO | NO |
| T8644 37.5KVA | 621>1 | 619>1 | 621>1 | NO | NO | NO |
| T8289 45KVA | 620>1 | 633>1 | 637>1 | NO | NO | NO |
| T8290 45KVA | 639>1 | 605>1 | 684>1 | NO | NO | NO |
| T8292 45KVA | 655>1 | 672>1 | 692>1 | NO | NO | NO |
| T9951 100KVA | 519>1 | 522>1 | 591>1 | NO | NO | NO |

| Transformadores | Factor de potencia | CUMPLE SI/NO |
|-----------------|--------------------|--------------|
| T8622 5KVA | 0,94 | SI |
| T8617 10KVA | 0,97 | SI |
| T8620 10KVA | 0,93 | SI |
| T5414 15KVA | 0,9 | NO |
| T2647 25KVA | 0,9 | NO |
| T2680 25KVA | 0,98 | SI |
| T8644 37.5KVA | 0,93 | SI |
| T8289 45KVA | 0,93 | SI |
| T8290 45KVA | 0,83 | NO |
| T8292 45KVA | 0,86 | NO |
| T9951 100KVA | 0,87 | NO |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Resultados de pérdidas en voltaje en circuitos primarios

| Circuito | $\Delta V\%$ |
|----------|--------------|
| 1 | 4,15 |
| 2 | 4,39 |

$$V_f = V_o \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n$$

- V_f = caída de voltaje dentro de los años proyectados
- V_o = caída actual de voltaje
- i = tasa de crecimiento.
- n = número de años proyectados

$$i = \left(\sqrt[n]{\frac{V_f}{V_o}}\right) * 100\%$$

$$i = \left(\sqrt[10]{\frac{2,7}{2,4}}\right) * 100\% = 1,18\%$$

| CATEGORÍA | DMU (KVA) ACTUAL | DMU (KVA) PROYECTADA (10 AÑOS) |
|-----------|------------------|--------------------------------|
| A | 3,6 | 3,9 |
| B | 2,4 | 2,7 |
| C | 1,5 | 1,7 |
| D | 0,8 | 0,9 |

$$n = \frac{\log(V_f)}{\log\left(V_o \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)\right)}$$



| Circuito | Años |
|----------|------|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **Pérdidas en circuitos secundarios**

| Transformadores | $\Delta V\%$ |
|-----------------|--------------|
| T8622 5KVA | 4,7 |
| T8617 10KVA | 13,63 |
| T8620 10KVA | 10,31 |
| T5414 15KVA | 10,31 |
| T2647 25KVA | 19,79 |
| T2680 25KVA | 16,65 |
| T8644 37.5KVA | 52,01 |
| T8289 45KVA | 13,09 |
| T8290 45KVA | 17,23 |
| T8292 45KVA | 16,24 |
| T9951 100KVA | 21,61 |

- **Pérdidas de energía en transformadores**

| Pérdidas para alimentadores | |
|----------------------------------|------------|
| Demanda máxima (Kw) | 1526,841 |
| Energía (Kwh) | 485483,629 |
| t periodo (h) | 744,000 |
| Demanda promedio (Kw) | 652,532 |
| Factor de carga | 0,427 |
| Energía de pérdidas instantáneas | 6,130 |
| fp max | 0,992 |
| Dri total | 7214,995 |
| Energía de pérdidas (Kwh) | 1202,499 |
| Factor de pérdidas | 0,788 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **Pérdidas en energía en transformadores**

| Pérdidas para transformadores | |
|----------------------------------|------------|
| Demanda máxima (Kw) | 1526,841 |
| Energía (KWh) | 485483,629 |
| t periodo (h) | 744,000 |
| Demanda promedio (Kw) | 652,532 |
| Factor de carga | 0,427 |
| Energía de pérdidas instantáneas | 4,600 |
| fp max | 0,992 |
| Dri total | 5414,188 |
| Energía de pérdidas (Kw) | 902,365 |
| Factor de pérdidas | 0,856 |

Ya que en medio voltaje es difícil que existan pérdidas no técnicas y en las redes de distribución el alimentador cuenta su sistema con preensamblado no existe mayor porcentaje de este tipo de pérdidas

- **Mejora del circuito primario**

| Circuito | $\Delta V\%$ |
|----------|--------------|
| 1 | 4,04 |
| 2 | 3,97 |

Este cálculo está proyectado para 10 años.



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Mejora del circuito secundario

$$C = \frac{\text{KVA DD}}{1,3}$$

| ITEM | KVA DD | C | CAPACIDAD KVA |
|------|--------|-------|---------------|
| 1 | 9,23 | 7,1 | 10 |
| 2 | 9,347 | 7,19 | 10 |
| 3 | 9,1 | 7 | 10 |
| 4 | 12,428 | 9,56 | 10 |
| 5 | 11,544 | 8,88 | 10 |
| 6 | 12,805 | 9,85 | 10 |
| 7 | 10,296 | 7,92 | 15 |
| 8 | 9,1 | 7 | 15 |
| 9 | 15,223 | 11,71 | 15 |

$$V_o = \frac{5,55}{\left(1 + \frac{1,18}{100}\right)^{10}} = 4,94$$

Para obtener el número de años ocupamos la siguiente ecuación.

$$n = \frac{\log(5)}{\log\left(4,94 \times \left(1 + \frac{1,18}{100}\right)\right)} = 1$$

Para el cambio del transformador T2680 25KVA la mejora solo durara para un año y no para 10 años como se lo realizo a los demás circuitos, por ello se deberá cambiar la red o la disposición del transformador.

| #Transformador | $\Delta fV\%$ actual | $\Delta f\%$ a 10 años | Descripción | Mejora $\Delta V\%$ a 10 años |
|----------------|----------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|
| T8622 5KVA | 4,7 | 4,18 | T8622 5KVA | 3 |
| T8617 10KVA | 13,63 | 12,12 | T8617 10KVA | 3,7 |
| | | | T1 10KVA | 2,98 |
| T8620 10KVA | 10,31 | 9,17 | T8620 10KVA | 2,46 |
| | | | T1 10KVA | 2,99 |
| T5414 15KVA | 10,31 | 9,17 | T5414 15KVA | 4,4 |
| | | | T1 10 KVA | 2,6 |
| T2647 25KVA | 19,79 | 17,60 | T2647 25KVA | 3,69 |
| | | | T1 10KVA | 3,49 |
| T2680 25KVA | 16,65 | 14,81 | T2680 25KVA | 3,75 |
| | | | T1 10KVA | 5,55 |
| T8644 37.5KVA | 52,01 | 46,25 | T8644 37.5KVA | 4,13 |
| | | | T110KVA | 4,26 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **Análisis económico**

COSTOS DE CABLE PRIMARIO

| LONGITUD (m) | \$ 1/0 | \$ 2/0 |
|--------------|---------|---------|
| 6038,72 | 4468,65 | |
| 1985,52 | | 2303,20 |
| TOTAL | | 6771,86 |

COSTOS DE CABLE DEL SECUNDARIO

| LONGITUD (M) | \$ 1/0 | \$ 2/0 | PREENSABLADO |
|--------------|---------|---------|--------------|
| 4360,42 | 3226,71 | | |
| 3063,95 | | 3554,19 | |
| 7424,37 | | | 24277,69 |
| TOTAL | | | 31058,58 |

COSTOS POR TRANSFORMADORES

| CAPACIDAD | TIPO | CATIDAD | PRECIO U | PRECIO T |
|--------------|-------------|---------|----------|----------|
| 10 | MONOFASICOS | 6 | 4613,76 | 27682,56 |
| 15 | TRIFASICOS | 4 | 1613,52 | 6454,08 |
| TOTAL | | | | 34136,64 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Análisis económico por construcción

Estructura CA

| A.- MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | CANTID. | PRECI O UNIT. | PRECIO TOTAL |
|---|--------|----------|---------|------------------|-----------------|
| Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV | U | 2 | 1,69 | 6,75 | 3,375 |
| Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción | U | 4 | 0,11 | 2,1 | 0,420 |
| Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG (alambre de atar) | M | 1 | 0,01 | 0,18 | 0,009 |
| Varilla de armar preformada para conductor de Al. (cinta para armar) | U | 4 | 0,04 | 0,735 | 0,147 |
| TOTAL | | | | | 3,951 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **Análisis económico por construcción**

| B.- MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | UNIDAD | HxEquipo | COSTO xHORA | SUBTOTAL |
|-------------------------------|--------|----------|-------------|-------------|
| Herramienta menor | U | 0,20 | 0,75 | 0,15 |
| TOTAL | | | | 0,15 |

| C.- MANO DE OBRA | cant | Hx-Hombre | COSTOxHORA | SUBTOTAL |
|------------------|------|-----------|------------|-------------|
| Jefe de grupo | 1,00 | 0,25 | 6,43 | 1,61 |
| dos linieros | 2,00 | 0,25 | 4,82 | 2,41 |
| dos ayudantes | 2,00 | 0,25 | 2,89 | 1,45 |
| Chofer | 1,00 | 0,25 | 6,43 | 1,61 |
| TOTAL | | | | 7,07 |

| | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--------------|
| COSTOS DIRECTOS (A+B+C) | | | | 11,17 |
| COSTOS INDIRECTOS 25% | | | | 2,79 |
| PRECIO UNITARIO CALCULADO | | | | 13,96 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Análisis económico por desmantelamiento

Estructura CA

| A.- MATERIALES | UNIDAD | CANTID. | PRECIO UNIT. | PRECIO TOTAL |
|---|--------|---------|--------------|--------------|
| Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV | U | 1,69 | 6,75 | 3,375 |
| Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción | U | 0,11 | 2,1 | 0,420 |
| Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG (alambre de atar) | M | 0,01 | 0,18 | 0,009 |
| Varilla de armar preformada para conductor de Al. (cinta para armar) | U | 0,04 | 0,735 | 0,147 |
| TOTAL | | | | 3,951 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- **Análisis económico por desmantelamiento**

| B.- MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | UNIDAD | HxEquipo | COSTO xHORA | SUBTOTAL |
|-------------------------------|--------|----------|-------------|----------|
| Herramienta menor | U | 0,20 | 0,75 | 0,15 |
| TOTAL | | | | 0,15 |

| C.- MANO DE OBRA | cant | Hx-Hombre | COSTOxHORA | SUBTOTAL |
|------------------|------|-----------|------------|----------|
| Jefe de grupo | 1,00 | 0,35 | 6,43 | 2,25 |
| dos linieros | 2,00 | 0,35 | 4,82 | 3,37 |
| dos ayudantes | 2,00 | 0,35 | 2,89 | 2,02 |
| Chofer | 1,00 | 0,35 | 6,43 | 2,25 |
| TOTAL | | | | 9,90 |

| | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--------------|
| COSTOS DIRECTOS (A+B+C) | | | | 14,00 |
| COSTOS INDIRECTOS 25% | | | | 3,50 |
| PRECIO UNITARIO CALCULADO | | | | 17,50 |

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|------------------|--------------|
| Construcción | 13,96 |
| Desmantelamiento | 17,50 |
| Total | 31,46 |



ANÁLISIS Y PROPUESTA

- Costos

Costo por construcción y desmantelamiento del primario

| Circuito | Precio \$ |
|--------------|----------------|
| 1 | 5071,41 |
| 2 | 2546,21 |
| TOTAL | 7617,62 |

Costo por construcción y desmantelamiento del secundario

| Circuito | Precio \$ |
|--------------|----------------|
| 1 | 4668,14 |
| 2 | 2797,15 |
| TOTAL | 7465,29 |

COSTO TOTAL DE LA MEJORA

| ITEM | DESCRIPCION | COSTO TOTAL |
|------|---|-----------------|
| 1 | Construcción y desmantelamiento del alimentador | 15082,92 |
| 2 | Adquisición de transformadores | 34136,64 |
| 3 | Adquisición del cable | 28698,46 |
| | TOTAL | 77918,02 |



CONCLUSIONES

- Se determinó la muestra de los transformadores para el estudio tomando en cuenta el 10% de las capacidades totales de los transformadores presentes en el alimentador N° 3 de la subestación Lasso, resultando un total de 11 transformadores debido a la poca cantidad de analizadores para las respectivas mediciones.
- Se realizó una exhaustiva interpretación de las 1008 mediciones por cada variable eléctrica durante un intervalo de tiempo determinado, adquiridas de los analizadores digitales Fluke 1744 colocados en los diferentes transformadores obtenidos de la muestra, mediante la exportación de los datos al programa informático Excel, analizamos las variables eléctricas que son de importancia para determinar la calidad de producto del sistema. Obteniendo histogramas de distribución de frecuencia los cuales mediante la regulación del CONELEC 004/01 nos permiten determinar si se encuentra en el rango establecido.
- Con el modelamiento del sistema en ETAP se obtuvo un reporte de pérdidas instantáneas de potencia en conductores y transformadores, también se puso observar sobrecargas en algunos transformadores que no están considerados en el estudio.



CONCLUSIONES

- ETAP no es el software apropiado para este tipo de estudio, es utilizado en su mayoría a nivel industrial y no para sistemas de distribución como es el caso del CYMDIST que es un software netamente eléctrico y se lo ocupa en todas las empresa eléctricas a nivel nacional.
- De la muestra de transformadores considerados en el estudio se obtuvieron los siguientes resultados, con lo que respecta a caída de voltaje de $\pm 5\%$ en la línea uno 6 cumplen y 5 no, en la línea dos 5 cumplen y 6 no y en la línea tres 5 cumplen y 6, para distorsión armónica de voltaje $THDV \leq 8\%$ las tres líneas cumplen, para Flickers $Pst \leq 1$ ninguna línea cumple y para el factor de potencia $fp = 0,92$ de los transformadores 6 cumplen y 5 no.
- Realizamos un análisis de pérdidas técnicas en energía y en voltaje diagnosticando la situación actual en el alimentador para dar una propuesta de mejora. Las pérdidas no técnicas se obtuvieron de la diferencia de la energía disponible y las pérdidas técnicas.
- Con la propuesta planteada se logra mejorar la calidad de servicio que la empresa debe brindar al usuario final, tomando en cuenta un tiempo de proyección de 10 años, con un costo de \$ 77918,02.



RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de calidad de producto mensual debido a que la carga no permanece constante y tiende a variar con el transcurso del tiempo.
- Es importante que se realice un estudio y seguimiento profundo sobre Flickers ya que las perturbaciones existentes en el alimentador en todo momento están incumpliendo con la regulación establecida en el CONELEC.
- Utilizar CYMDIST para realizar este tipo de estudio ya que este software es netamente eléctrico y es empleado a nivel nacional por las empresas distribuidoras de energía.
- Concientizar a la empresa eléctrica en invertir en proyectos de mejora de tal manera que se mitigue en su mayoría las pérdidas tanto técnicas como no técnicas.
- A nivel del circuito secundario es importante verificar que la carga se encuentre equilibrada ya que existen transformadores sobrecargados por el exceso de usuarios conectados.



GRACIAS



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA