



## Optimización de las inversiones y actividades de mantenimiento en transformadores de potencia, bajo un modelo de salud de activo

Carlos Mario Peláez Hoyos – Empresa de Energía del Quindío EDEQ

Sebastián Herrera– Empresa de Energía del Quindío EDEQ

### Resumen

Los transformadores de potencia son activos esenciales en los sistemas de distribución, por lo tanto, se deben tener herramientas para tomar decisiones sobre ellos, en mantenimiento, inversión y desincorporación. Acorde a esto, se presenta un modelo que permite a la organización estimar, cuándo y cuáles transformadores se deben reparar o reemplazar, optimizando el costo de su ciclo de vida, administrando sus riesgos y maximizando su desempeño. El modelo utiliza el índice de salud del activo, la criticidad de los transformadores y del entorno de su instalación, con el fin de generar un plan de gestión activos optimizado, y brindando a la organización herramientas para toma decisiones.

El modelo se aplicó a 16 transformadores de potencia del sistema de la empresa de energía del Quindío. Para el cálculo del índice de salud se evaluaron veintidós criterios de condición, la criticidad en taxonomía nivel 3 y 6, bajo 5 objetos de impacto: Seguridad de las personas, Impacto al medio ambiente, Calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica, Finanzas de la compañía E imagen corporativa. Las categorías para el índice de salud en los transformadores fueron: muy pobre, pobre, medio, bueno y muy bueno y para la criticidad: Muy alta, alta, media y baja. Con las variables del modelocalculadas, se priorizaron cuatro estrategias para aplicar en los transformadores de potencia, uno para reposición inmediata, otro para evaluar su reacondicionamiento e iniciar el proceso de reposición, dos se deben evaluar y mejorar sus condiciones de operación, incrementar frecuencia de

mantenimiento e inspección y finalmente para los doce restantes se debe realizar mantenimiento general e inspección. De esta forma se generó un plan de optimización de intervenciones. El modelo es fácilmente aplicable para cualquier operador de red, trayendo consigo herramientas que le permitirán maximizar sus ingresos, debido a que mitiga el riesgo de falla de los transformadores, y optimiza su plan de inversiones y mantenimiento.

### Introducción

Dentro del proceso de implementación del Sistema de Gestión de Activos en el grupo empresarial EPM, surge la definición de políticas y lineamientos que permitan gestionar los activos durante todo su ciclo de vida, con criterios de costo riesgo y desempeño por medio de un plan estratégico de gestión de activos, desarrollado a través de los planes de gestión de activos, entre ellos: el plan de inversiones y el plan de mantenimiento. Ahora la metodología que ha adoptado el grupo para desarrollar el plan de inversiones se denominada salud de activos, que inicialmente está siendo aplicada a transformadores de potencia y la cual se mostrará en este artículo.

Los transformadores de potencia son activos esenciales para cualquier sistema de potencia, ya sea para los niveles de tensión comprendidos en transmisión como para los niveles de tensión comprendidos en distribución, una falla inminente en un activo de estos puede tener diferentes consecuencias, eso depende de la topología del sistema, desde simplemente perder confiabilidad, hasta



consecuencias como tener usuarios desatendidos. Por lo que se hace necesario una herramienta para tomar decisiones sobre ellos, tanto para mantenimiento como para inversión.

El estado del arte de esta metodología es el estudio de lo que muchas organizaciones a nivel internacional han realizado, enmarcada en un modelo que permite el cálculo de un Índice de salud de activos, con el fin de que se pueda estimar, cuándo y cuáles transformadores se deben reparar o reemplazar, con el fin de optimizar el costo de su ciclo de vida, administrar sus riesgos y maximizar su desempeño.

Este modelo fue aplicado a la filial del grupo empresarial, EDEQ empresa de energía del Quindío, la cual se dedica al negocio de distribución, y tiene en su sistema 16 transformadores de potencia.

#### Estado Del Arte De La Salud En Transformadores De Potencia

Las inversiones en estos activos son altas, una falla catastrófica generaría altos costos para cualquier empresa, ya sea en reposición, reparación, baja anticipada de activos, entre otros.

Ahora, ¿cómo pronosticar la falla de un transformador de potencia?, los fabricantes a menudo definen la vida prevista para los transformadores de potencia entre 20 a 45 años, pero este tiempo muchas veces se supera y además con tasas de falla bajas. Por lo tanto, surge la necesidad de cuantificar la vida remanente o una degradación a largo plazo de estos activos, por lo que diferentes variables son tenidas en cuenta para lograr este objetivo.

Dentro de las pruebas más importantes que se le realizan a los transformadores para pronosticar esta vida son los análisis de gases

disueltos y con ello predecir la vida remanente del activo, pero otros datos como las pruebas de rutina, los datos de mantenimiento y la historia previa del transformador son generalmente descuidados, por lo que el modelo como será presentado utiliza una cantidad de variables antes olvidadas, con el fin de detectar y cuantificar una degradación a largo plazo del transformador y así pronosticar la vida útil técnica remanente que posee.

El modelo da como resultado el HI Índice de Salud en inglés Healt Index, muy útil para representar la salud general de un activo, cuantificar la condición basada en diferentes criterios de condición que están relacionados con factores de degradación, que a largo plazo y acumulativamente conducen al final de la vida del activo. Es importante aclarar que los resultados del HI difieren de las pruebas de mantenimiento o diagnósticos, que enfatizan la búsqueda de defectos y deficiencias que necesitan corrección para mantener el activo operativo.

#### Criterios de Condición

Análisis de Gases Disueltos: Varias técnicas clásicas se han desarrollado para la interpretación de los análisis de gases disueltos "DGA" que se le realiza al aceite dieléctrico de los transformadores de potencia, tales como: Rogers, Dornenburg, Duval Triangle y Dornenburg modificado.

Teóricamente, mediante DGA, es posible distinguir fallas internas como arcos, descargas parciales, chispas de baja energía, sobrecarga severa y sobrecalentamiento en el sistema de aislamiento. La IEC 60599 proporciona una lista codificada de fallas detectables con los resultados de los análisis de gases disueltos, y el estándar IEEE C57.104 introduce criterios con cuatro niveles para clasificar los riesgos para los transformadores con diversos niveles



de gases con el fin de que continúe en funcionamiento.

Los datos del DGA (análisis de gases disueltos) en sí mismos no siempre brindan suficiente información para evaluar la integridad de un transformador, la operación normal también dará como resultado la formación de algunos gases. De hecho, es posible para algunos transformadores operar a lo largo de su vida útil con cantidades sustanciales de gases combustibles presentes.

La figura 1 compara el nivel de alarma recomendado por diferentes referencias incluyendo IEEE, IEC, Dornenburg, y Bureau of Reclamation.

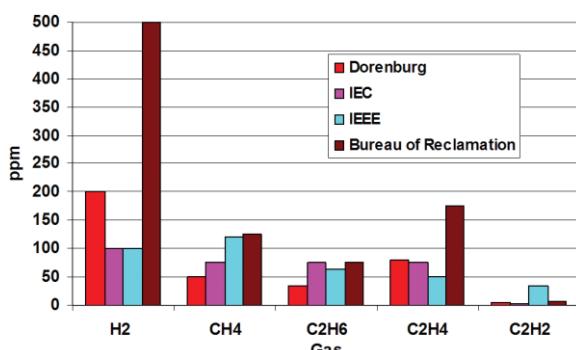


Figura 1. Niveles de alarma para las pruebas de DGA, en los diferentes estándares internacionales [1]

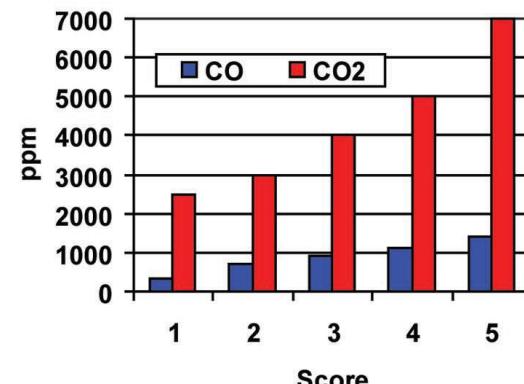
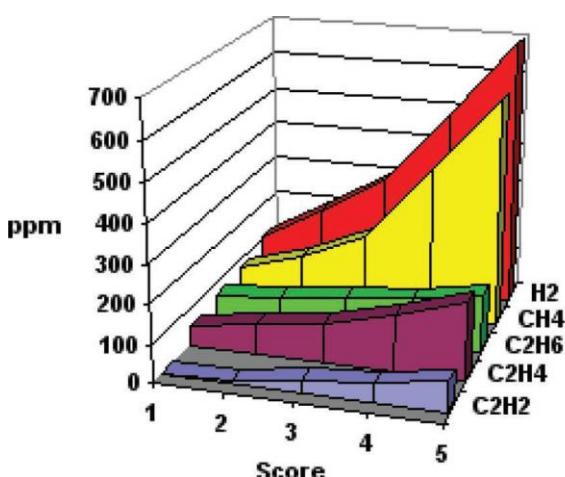


Figura 2. Calificación para el análisis de DGA en transformadores de potencia [1]

El modelo propone una calificación mostrada en la en la figura 2, en la que se muestra para los diferentes gases disueltos que se presentan en el aceite dieléctrico, esta estimación presentada, se propone de acuerdo con el estudio de las diferentes calificaciones de los diferentes estándares, e igualmente se hace el mismo análisis para las pruebas fisicoquímicas del aceite, mostradas en la tabla 1. [1]

En La Tabla 1 se propone una calificación para las pruebas fisicoquímicas del aceite, basados en la IEEE C57.106.2006 [1]

En la tabla 2 se muestra un estado del arte, de las normas que recomienda la IEEE y el CIGRE, de la cual fueron base para mostrar la siguiente calificación.

La Información sobre la historia de un transformador (mantenimiento, práctica de carga, fallas previas, datos del fabricante, etc.) requerida para hacer la evaluación, por ser nuestro primer ejercicio, solo se evalúan con dos criterios de condición, DGA y fisicoquímicas del aceite, la idea es evaluar en la totalidad los criterios que propone el modelo, para tener un dato conciso del índice de salud.



## Modelo de salud de activos

| Parameter            | ASTM recommended by IEEE[1,10] | IEC recommended by CIGRE[1,11] |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Dielectric Breakdown | D877, D1816                    | IEC60156                       |
| Water content        | D1533                          | IEC 60814                      |
| Power Factor         | D924                           | IEC247                         |
| IFT                  | D971                           | ISO 6295                       |
| Acidity              | D644, D974                     | IEC62021                       |
| Color                | D1500                          | ISO 2049                       |

Tabla 1. Estándares para pruebas del aceite dieléctrico

|                                   | $U \leq 69 \text{ kV}$ | $69 \text{ kV} < U < 230 \text{ kV}$ | $230 \text{ kV} \leq U$ | Score (Si) | Wi |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|
| Dielectric Strength kV (2 mm gap) | $\geq 45$              | $\geq 52$                            | $\geq 60$               | 1          | 3  |
|                                   | 35–45                  | 47–52                                | 50–60                   | 2          |    |
|                                   | 30–35                  | 35–47                                | 40–50                   | 3          |    |
|                                   | $\leq 30$              | $\leq 35$                            | $\leq 40$               | 4          |    |
| IFT dyne/cm                       | $\geq 25$              | $\geq 30$                            | $\geq 32$               | 1          | 2  |
|                                   | 20–25                  | 23–30                                | 25–32                   | 2          |    |
|                                   | 15–20                  | 18–23                                | 20–25                   | 3          |    |
|                                   | $\leq 15$              | $\leq 18$                            | $\leq 20$               | 4          |    |
| Acid Number                       | $\leq 0.05$            | $\leq 0.04$                          | $\leq 0.03$             | 1          | 1  |
|                                   | .05–0.1                | 0.04–1.0                             | 0.03–0.7                | 2          |    |
|                                   | 0.1–0.2                | 1.0–0.15                             | 0.07–0.10               | 3          |    |
|                                   | $\geq 0.2$             | $\geq 0.15$                          | $\geq 0.10$             | 4          |    |
| Water content (ppm)               | $\leq 30$              | $\leq 20$                            | $\leq 15$               | 1          | 4  |
|                                   | 30–35                  | 20–25                                | 15–20                   | 2          |    |
|                                   | 35–40                  | 25–30                                | 20–25                   | 3          |    |
|                                   | $\geq 40$              | $\geq 30$                            | $\geq 25$               | 4          |    |
| Color                             | $\leq 1.5$             |                                      | 1                       |            | 2  |
|                                   | 1.5–2.0                |                                      | 2                       |            |    |
|                                   | 2.0–2.5                |                                      | 3                       |            |    |
|                                   | $\geq 2.5$             |                                      | 4                       |            |    |
| Dissipation factor (%) 25 °C      | $\leq 0.1$             |                                      | 1                       |            | 3  |
|                                   | 0.1–0.5                |                                      | 2                       |            |    |
|                                   | 0.5–1.0                |                                      | 3                       |            |    |
|                                   | $\geq 1.0$             |                                      | 4                       |            |    |

Tabla 2. Clasificación para las pruebas fisicoquímicas del aceite dieléctrico en transformadores de potencia. [1]

### Salud:

Se define la salud de la siguiente manera: Campo de estudio que incluye métodos para establecer la habilidad del activo para cumplir con el objetivo requerido en la escala de tiempo definida por el usuario. [2]

El índice de salud es la manera de medir la condición global del activo, además: [2]

- a) Permite la comprensión de los activos en el presente y hacia el futuro: En el presente orienta las decisiones de mantenimiento y en el futuro, las decisiones de reemplazo.
- b) Permite conocer como la condición del activo impacta la confiabilidad del sistema y los objetivos del negocio.
- c) Articula la condición y el riesgo de una manera clara para tomar decisiones y elaborar presupuesto.

Para el cálculo de la salud del activo se debe definir la taxonomía y criticidad, tanto para la instalación a la que pertenece el transformador como para el mismo.

De manera genérica se presenta el modelo de salud en la ecuación 1, dividida en tres aspectos que comúnmente se le realiza a cualquier activo, ahora estos tres aspectos o variables se multiplican por un peso singular para cada uno, y este depende de que tan reversible sea dicho factor en el activo.

$$AHI =$$

$$\frac{\alpha * (inspecciones) + \beta * (pruebas) + \gamma * (problemas)}{\beta + \gamma + \alpha}$$

*inspecciones = inspecciones realizadas*

*pruebas = pruebas realizadas*

*problemas = problemas conocidos*

*$\alpha$  = peso inspecciones realizadas*

*$\beta$  = peso para las pruebas realizadas*



$\gamma = \text{peso para las problemas conocidos}$

Ecuación 1: Modelo para el cálculo del índice de Salud [2]

Ahora, para el caso puntual de los transformadores de potencia, en la tabla 3 se proponen los criterios condición con sus pesos propuestos.

Cada criterio cuenta con un rango de calificación, debido a que cada uno de ellos tiene diferentes componentes para su medición, es el caso de las pruebas de gases disueltos DGA, la cual evalúa la cantidad de algunos gases dentro del aceite, es decir los resultados puntuales de cada gas, hay que calificarlos y la agrupación de la calificación de cada uno de ellos, da como resultado la calificación del DGA, como este caso hay muchos, por lo que se propone el siguiente modelo de evaluación: [1]

$$HI_{\text{cada_criterio}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 2. Evaluación de los criterios de condición

Dónde:

n= Número de factores

S<sub>i</sub>= Puntaje de evaluación

W<sub>i</sub>= Peso de cada criterio

| No. | Criterio                      | Peso K:<br>HIF | Rango calificación |
|-----|-------------------------------|----------------|--------------------|
| 1   | DGA                           | 10             | 4,3,2,1,0          |
| 2   | Historial de carga            | 10             | 4,3,2,1,0          |
| 3   | Factor de potencia            | 10             | 4,3,2,1,0          |
| 4   | Termografía                   | 10             | 4,3,2,1,0          |
| 5   | Fisicoquímicas del aceite     | 8              | 4,3,2,1,0          |
| 6   | Condición general             | 8              | 4,3,2,1,0          |
| 7   | Furanos                       | 5              | 4,3,2,1,0          |
| 8   | Relación de transformación    | 5              | 4,3,2,1,0          |
| 9   | Resistencia de devanados      | 5              | 4,3,2,1,0          |
| 10  | Perdidas                      | 8              | 4,3,2,1,0          |
| 11  | Condición de bujes            | 5              | 4,3,2,1,0          |
| 12  | Corrosión de tanque principal | 2              | 4,3,2,1,0          |
| 13  | Equipos de refrigeración      | 2              | 4,3,2,1,0          |
| 14  | Fundaciones                   | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 15  | Tierra                        | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 16  | Empaques y sellos             | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 17  | Conectores                    | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 18  | Fugas de aceite               | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 19  | Nivel de aceite               | 1              | 4,3,2,1,0          |
| 20  | DGA del LTC                   | 6              | 4,3,2,1,0          |
| 21  | Fisicoquímicas aceite LTC     | 3              | 4,3,2,1,0          |
| 22  | Condición general del LTC     | 5              | 4,3,2,1,0          |

Tabla 3. Criterios de condición para los transformadores de potencia [1]



| EVALUACION DE CADA CRITERIO |           |      |
|-----------------------------|-----------|------|
| VALOR                       | CONDICION | HIFj |
| <1,2                        | Muy buena | 4    |
| 1,2-1,5                     | Buena     | 3    |
| 1,5-2                       | Medio     | 2    |
| 2-3                         | Pobre     | 1    |
| >=3                         | Muy pobre | 0    |

Tabla 4. Evaluación HIFj: criterios de condición

Por lo tanto, cada criterio de condición resulta en un valor, el cual ya se puede incluir en el índice de salud del transformador de la siguiente manera:

$$HI_{transformador} = \frac{\sum_{j=1}^n K_j * HIF_j}{\sum_{j=1}^n 4K_j}$$

Ecuación 3. Cálculo del índice de salud para los transformadores de potencia.

El índice de salud del activo AHÍ (Asset Health Index); es un número en escala de 0 – 100.

En la tabla 7 se presenta la calificación para los diferentes criterios que utilizaremos en los transformadores de potencia

Lo importante de este resultado es combinarlo con la criticidad de la instalación, con el fin de tomar mejores decisiones, la combinación se muestra en los resultados en la tabla 8, esta designa varias recomendaciones con un horizonte de 20 años para realizar sobre los transformadores de potencia.

| CALIFICACIÓN DEL ACEITE AISLANTE IEEE C57.106-2006 |            |                    |               |           |
|--|------------|--------------------|---------------|-----------|
| PARAMETRO  | U <= 69 kV | 69 kV < U < 230 kV | PUNT AJE (Si) | PESO (Wi) |
| Rigidez dieléctrica (kV)                           | >=45       | >=52               | 1             | 3         |
|  | 35-45      | 47-52              | 2             |           |
|  | 30-35      | 35-47              | 3             |           |
|  | <=30       | <=35               | 4             |           |
| Contenido de humedad (ppm)                         | <=30       | <=20               | 1             | 4         |
|  | 30-35      | 20-25              | 2             |           |
|  | 35-40      | 25-30              | 3             |           |
|  | >=40       | >=30               | 4             |           |
| Acidez (mgKOH/g)                                   | <0,05      | <0,04              | 1             | 1         |
|  | 0,05-0,1   | 0,04-0,1           | 2             |           |
|  | 0,1-0,2    | 0,1-0,15           | 3             |           |
|  | >=0,2      | >=0,15             | 4             |           |
| Tensión interfacial (din/cm)                       | >=25       | >=30               | 1             | 2         |
|  | 20-25      | 23-30              | 2             |           |
|  | 15-20      | 18-23              | 3             |           |
|  | <=15       | <=18               | 4             |           |
| Color  | <= 1,5     |                    | 1             | 2         |
|  | 1,5-2      |                    | 2             |           |
|  | 2-2,5      |                    | 3             |           |
|  | >= 2,5     |                    | 4             |           |
| Factor de disipación (%) 25 °C                     | <=0,1      |                    | 1             | 3         |
|  | 0,1-0,5    |                    | 2             |           |
|  | 0,5-1      |                    | 3             |           |
|  | >=1        |                    | 4             |           |

Tabla 5. Calificación del aceite dieléctrico

## Resultados

El modelo fue aplicado a 16 transformadores, para realizarnos un contexto, se anexa en las tablas 9 y 10 de los anexos la subestación a la que pertenecen, el número de serie el costo histórico, su potencia, la criticidad de la instalación bajos los 5 objetos de impacto que evaluamos en el grupo empresarial, seguridad a las personas, seguridad al medio ambiente, imagen corporativa, finanzas de la compañía y calidad en la prestación del servicio, además de unos datos de costos de los transformadores, los cuales se encuentran en nuestros sistemas de información, Fecha de Creación en el software financiero de la compañía, año de placa, año de primer registro de las pruebas,



repotenciación, vida útil contable, vida útil remanente en Libros, con estos datos nos realizamos un contexto básico de las características técnicas y financieras del activo.

#### Índice de salud para los gases disueltos

Se muestran los valores en la tabla 11 del anexo las calificaciones con respecto al modelo para las pruebas de análisis de gases disueltos, para la última prueba tomada a cada uno de ellos.

#### Índice de salud para las pruebas fisicoquímicas

He igualmente las pruebas fisicoquímicas para cada uno de ellos, en la tabla 12 del anexo:

#### Índice de salud para los transformadores de potencia

En la tabla 13 del anexo, se muestra el índice de salud para cada transformador

#### Plan de reposición e intervención

Con el resultado del modelo se genera un Plan de reposición e intervención, para cada uno de los transformadores mostrados en la tabla 8, y cuyas recomendaciones están en la tabla 14.

| Categoría de prioridad | Estrategia de Gestión de Activos que emplear   | Horizonte* (Depende de la naturaleza del activo) |
|------------------------|--|--|
| 1                      | Reposición inmediata   | (0-5 años)                                       |
| 2                      | Evaluar reacondicionamiento / Iniciar proceso de reposición  | (5-10 años)                                      |
| 3                      | Evaluar y mejorar condiciones de operación/incrementar frecuencia de mantenimiento e inspección/Reacondicionar | (10-15 años)                                     |
| 4                      | Mantenimiento/Inspección   | (>15 años)                                       |

Tabla 6. Plan de Reposición e intervención para los transformadores de potencia [2]

| CRITICIDAD | Muy alta |             |         |                 |         | Calarca , Sur | Quimbaya, Cabaña, Sur               |
|------------|----------|-------------|---------|-----------------|---------|---------------|-------------------------------------|
|            | Alta     | Mont enegro |         | La Tebaida TR23 |         |               | La Tebaida TR22, Los Pinos, Armenia |
|            | Media    |             |         |                 |         |               | El Caimo, Paraguaicito, La Patria   |
|            | Baja     |             |         | Puerto Espejo   |         |               | Parque del café                     |
|            |          | Muy pobre   | Pobre   | Medio           | Bueno   | Muy bueno     |                                     |
|            |          | (0-30)      | (30-50) | (50-70)         | (70-85) | (85-100)      |                                     |

ÍNDICE DE SALUD DE ACTIVOS

Tabla 8: Índice de Salud y Criticidad [2]

#### Conclusiones

Dentro de las conclusiones más importantes que se tienen es la aplicación del modelo del índice de salud son:

- La generación de planes de reposición e intervención
- El poder tomar decisiones de suspensión de intervenciones en activos que serán reemplazados pronto
- El dar prioridad de mantenimiento para activos con baja salud que no serán reemplazados pronto
- La realización de análisis de fallas para activos jóvenes con baja salud
- La Optimización del mantenimiento y el reemplazo de grupos de activos
- La determinación de factores claves de degradación para la salud de los transformadores de potencia y,
- La generar planes de mitigación del riesgo



### Autores

#### Agradecimientos

Agradecimientos a la Dirección Gestión de Activos del grupo empresarial EPM, por la transferencia de conocimiento que realizan a las filiales del grupo, sin ellos no hubieran sido posible estos resultados.

#### Bibliografía

[1] IEEE, Electrical Insulation Magazine, An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index, 2009

[2] Metodología de Salud de Activos en transformadores de potencia, grupo empresarial EPM

**Carlos Mario Peláez Hoyos:** Ingeniero Electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de energía del Quindío EDEQ, Profesional en Formación Planeación de Infraestructura (2016 – 2017), Profesional en Gestión de Activos (2017 - 2018) , [carlos.pelaez@edeq.com.co](mailto:carlos.pelaez@edeq.com.co), teléfono: 3147320108, Armenia Quindío Colombia.

**Sebastián Herrera Aristizábal:** **Carlos Mario Peláez Hoyos:** Ingeniero Electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de energía del Quindío EDEQ, Profesional en Formación Planeación de Infraestructura (2016 – 2017), Profesional en Gestión de Activos (2017-2018) , [sebastian.herrera@edeq.com.co](mailto:sebastian.herrera@edeq.com.co), teléfono: 3147320108, Armenia Quindío Colombia.



## Anexos

### Datos de identificación

| DATOS DE IDENTIFICACION |            |                        |        |                   |                               |                 |                      |                                |
|-------------------------|------------|------------------------|--------|-------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|
| ITEM                    | No. Activo | Activo                 | Código | Subestación       | Marca                         | Número de Serie | Costo Histórico      | Potencia                       |
| 1                       | 47841      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR22   | S/E LA TEBAIDA    | GEC ALSTHOM UNINDO 30/40MVA   | A981523 9-01    | \$ 1.360.372.867, 87 | TRF POT. 115/33kV 30/40MVA     |
| 2                       | 47842      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR23   | S/E LA TEBAIDA    | GEC ALSTHOM UNINDO 10/12.5MVA | A981523 8-02    | \$ 574.437.471,90    | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A |
| 3                       | 48081      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR1    | S/E MONTENE GRO   | SIEMENS 10/12.5MVA            | 3039013 08      | \$ 835.314.276,99    | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A |
| 4                       | 48230      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR29   | S/E QUIMBAYA      | ABB 10/12.5MVA                | 200721          | \$ 683.481.730,25    | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A |
| 5                       | 48382      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR12   | S/E CAIMO         | ABB 5/6.25MVA                 | 127020          | \$ 639.634.993,74    | TRF POT. 33/13.2kV 5/6,25MVA   |
| 6                       | 48651      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR30   | S/E PARAGUAI CITO | ABB 5/6.25MVA                 | 200895-1        | \$ 623.053.147,41    | TRF POT. 33/13.2kV 5/6,25MVA   |
| 7                       | 50977      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR17   | S/E LOS PINOS     | ABB 10/12.5MVA                | 95860           | \$ 574.512.333,90    | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A |
| 8                       | 51014      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR8    | S/E CALARCÁ       | SIEMENS 10/12.5MVA            | 132901-1307     | \$ 867.668.605,56    | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A |
| 9                       | 49115      | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR10   | S/E CABANÁ        | AEG 15/18.75MVA               | 312370-01       | \$ 292.089.815,31    | TRF POT. 33/13.2kV 15/18.75MVA |



|    |       |                        |      |                     |                                |              |                     |                                      |
|----|-------|------------------------|------|---------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------------|
| 10 | 49116 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR9  | S/E CABANÁ          | AEG<br>15/18.75MVA             | 312360-01    | \$ 292.089.815,31   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>15/18.75MVA |
| 11 | 48009 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR24 | S/E SUR             | MITSUBISHI<br>15/20MVA         | 567449       | \$ 523.867.223,08   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>15/20MVA    |
| 12 | 48604 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR13 | S/E PUERTO ESPEJO   | SIEMENS<br>10/12.5MV A         | P9-132900    | \$ 287.616.588,74   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5MV A |
| 13 | 51013 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR20 | S/E ARMENIA         | GEC ALSTHOM UNINDO 075MVA      | A-9815240    | \$ 1.229.029.097,03 | TRF POT.<br>115/33kV<br>30/40MVA     |
| 14 | 49096 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR21 | S/E LA PATRIA       | GEC ALSTHOM UNINDO 10/12.5MV A | A982023 8-01 | \$ 583.088.284,57   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5MV A |
| 15 | 49281 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR18 | S/E PARQUE DEL CAFÉ | BROWN BOVERI 2/2.7MVA          | 10685        | \$ 153.217.887,88   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>2/2,7MVA    |
| 16 | 48380 | TRANSFORMADOR POTENCIA | TR2  | S/E MONTENE GRO     | SIEMENS<br>10/12.5MV A         | 3808913 08   | \$ 53.933.439,52    | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5MV A |

Tabla 7. Datos de identificación de los transformadores de potencia

#### Datos de costos

| ITE M | No. en el OW | Subestación     | POTENCIA (MVA)                | Fecha de Consulta en el OW | Fecha de Creación en el OW | Año de Placa | Año de Fabricación Registrado en Pruebas | Repotenciación | Vida Útil OW | Vida Útil Remanente en Libros (Meses - agosto 2017) |
|-------|--------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--|----------------|--------------|---|
| 1     | 478 41       | S/E LA TEBAIDA  | TRF POT. 115/33kV 30/40MVA    | 31/08/2017                 | 17/12/2008                 | 01/01/1998   | 30/11/2007                               | 01/01/1998     | 39 2         | 335   |
| 2     | 478 42       | S/E LA TEBAIDA  | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA | 31/08/2017                 | 17/01/2009                 | 01/01/1998   | 30/11/2007                               | 01/01/1998     | 39 2         | 335   |
| 3     | 480 81       | S/E MONTENE GRO | TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA | 31/08/2017                 | 17/04/2008                 | 17/04/1998   | 17/04/1998                               | 01/01/1685 02  | 39 2         | 335   |



|    |           |                        |  |                |                |                |                |            |         |     |
|----|-----------|------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|---------|-----|
| 4  | 482<br>30 | S/E QUIMBAYA           | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 31/08/2<br>017 | 17/11/2<br>008 | 01/01/2<br>009 | 31/12/2<br>009 | 01/01/2009 | 39<br>2 | 335 |
| 5  | 483<br>82 | S/E CAIMO              | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>5/6,25MV<br>A   | 31/08/2<br>017 | 17/08/2<br>001 | 01/01/2<br>004 | 20/06/2<br>008 | 01/01/2004 | 39<br>2 | 335 |
| 6  | 486<br>51 | S/E PARAGUAI<br>CITO   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>5/6,25MV<br>A   | 31/08/2<br>017 | 17/12/2<br>011 | 01/01/2<br>011 | 20/10/2<br>011 | 01/01/2011 | 39<br>2 | 335 |
| 7  | 509<br>77 | S/E LOS PINOS          | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 31/08/2<br>017 | 17/11/2<br>000 | 01/01/1<br>990 | 13/09/1<br>994 | 01/01/2015 | 39<br>2 | 335 |
| 8  | 510<br>14 | S/E CALARCÁ            | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 31/08/2<br>017 | 17/11/1<br>999 | 01/01/1<br>994 | 02/02/2<br>001 | 01/01/1994 | 39<br>2 | 335 |
| 9  | 491<br>15 | S/E CABANÁ             | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>15/18.75<br>MVA | 31/08/2<br>017 | 17/05/2<br>003 | 01/01/1<br>996 | 24/06/1<br>998 | 01/01/1996 | 39<br>2 | 335 |
| 10 | 491<br>16 | S/E CABANÁ             | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>15/18.75<br>MVA | 31/08/2<br>017 | 17/05/2<br>003 | 01/01/1<br>996 | 24/06/1<br>998 | 01/01/1996 | 39<br>2 | 335 |
| 11 | 480<br>09 | S/E SUR                | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>15/20MV<br>A    | 31/08/2<br>017 | 17/02/2<br>007 | 01/01/2<br>016 | 31/12/2<br>009 | 01/01/2016 | 39<br>2 | 335 |
| 12 | 486<br>04 | S/E PUERTO<br>ESPEJO   | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 31/08/2<br>017 | 17/05/2<br>002 | 01/01/1<br>994 | 13/07/1<br>995 | 01/01/2015 | 39<br>2 | 335 |
| 13 | 510<br>13 | S/E ARMENIA            | TRF POT.<br>115/33kV<br>30/40MV<br>A     | 31/08/2<br>017 | 17/12/2<br>008 | 01/01/1<br>998 | 30/11/2<br>007 | 01/01/1998 | 39<br>2 | 335 |
| 14 | 490<br>96 | S/E LA PATRIA          | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 31/08/2<br>017 | 17/01/2<br>009 | 01/01/1<br>998 | 30/11/2<br>007 | 01/01/1998 | 39<br>2 | 335 |
| 15 | 492<br>81 | S/E PARQUE<br>DEL CAFÉ | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>2/2,7MV<br>A    | 31/08/2<br>017 | 17/05/2<br>000 | 01/01/1<br>995 | 20/06/2<br>008 | 01/01/2016 | 36<br>4 | 307 |
| 16 | 483<br>80 | S/E MONTENE<br>GRO     | TRF POT.<br>33/13.2kV<br>10/12.5M<br>VA  | 01/09/2<br>017 | 17/12/1<br>996 | 01/01/2<br>009 | 01/07/1<br>905 | 01/01/2009 | 33<br>6 | 279 |

Tabla 8. Valores Contables de los transformadores



| DATOS DEL TRANSFORMADOR |                                | INDICE DE SALUD DGA |      |              |           |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|------|--------------|-----------|
| SUBESTACION             | DESCRIPCION                    | INDICE              | PESO | CALIFICACION | CONDICION |
| S/E LA TEBAIDA          | TRAFO POTENCIA22 115KV LA TEBA | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E LA TEBAIDA          | TRAFO POTENCIA23 33KV LA TEBAI | 1,83                | 10   | 2            | MEDIA     |
| S/E MONTENEGRO          | TRAFO POTENCIA2 33KV MONTENEGR | 3,50                | 10   | 0            | MUY POBRE |
| S/E QUIMBAYA            | TRAFO POTENCIA25 33KV QUIMBAYA | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E CAIMO               | TRAFO POTENCIA4 33KV CAIMO     | 1,06                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E PARAGUAICITO        | TRAFO POTENCIA6 33KV PARAGUAIC | 1,06                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E LOS PINOS           | TRAFO POTENCIA17 33KV LOS PINO | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E CALARCÁ             | TRAFO POTENCIA8 33KV CALARCA   | 1,06                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E CABANÁ              | TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA   | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E CABANÁ              | TRAFO POTENCIA9 33KV CABANA    | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E SUR                 | TRAFO POTENCIA24 33KV SUR      | 1,22                | 10   | 3            | BUENA     |
| S/E PUERTO ESPEJO       | TRAFO POTENCIA13 33KV PTO ESPE | 1,56                | 10   | 2            | MEDIA     |
| S/E ARMENIA             | TRAFO POTENCIA20 115KV ARMENIA | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E LA PATRIA           | TRAFO POTENCIA21 33KV LA PATR  | 1,17                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E PARQUE DEL CAFÉ     | TRAFO POTENCIA18 33KV PARQUE C | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |
| S/E MONTENEGRO          | TRAFO POTENCIA11 33KV MONTENEG | 1,00                | 10   | 4            | MUY BUENA |

Tabla 9. Resultados Calificación Pruebas de DGA

| DATOS DEL TRANSFORMADOR |                                | CALIFICACIÓN DE FQ DEL ACEITE |      |              |           |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|--------------|-----------|
| Subestación             | Descripción                    | INDICE                        | PESO | CALIFICACION | CONDICION |
| B1                      | TRAFO POTENCIA22 115KV LA TEBA | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B1                      | TRAFO POTENCIA23 33KV LA TEBAI | 1,20                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B3                      | TRAFO POTENCIA2 33KV MONTENEGR | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B4                      | TRAFO POTENCIA25 33KV QUIMBAYA | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B5                      | TRAFO POTENCIA4 33KV CAIMO     | 1,20                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B6                      | TRAFO POTENCIA6 33KV PARAGUAIC | 1,20                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B7                      | TRAFO POTENCIA17 33KV LOS PINO | 1,00                          | 8    | 4            | MUY BUENA |
| B8                      | TRAFO POTENCIA8 33KV CALARCA   | 1,60                          | 8    | 2            | MEDIA     |
| B9                      | TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA   | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B9                      | TRAFO POTENCIA9 33KV CABANA    | 1,00                          | 8    | 4            | MUY BUENA |
| B10                     | TRAFO POTENCIA24 33KV SUR      | 1,47                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B11                     | TRAFO POTENCIA13 33KV PTO ESPE | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B13                     | TRAFO POTENCIA20 115KV ARMENIA | 1,00                          | 8    | 4            | MUY BUENA |
| B14                     | TRAFO POTENCIA21 33KV LA PATR  | 1,20                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B16                     | TRAFO POTENCIA18 33KV PARQUE C | 1,40                          | 8    | 3            | BUENA     |
| B3                      | TRAFO POTENCIA11 33KV MONTENEG | 1,00                          | 9    | 4            | MUY BUENA |

Tabla 10. Resultados Calificación Pruebas Fisicoquímicas



| DATOS DEL TRANSFORMADOR |                                | INDICE DE SALUD TRANSFORMADOR |                             | TOMA DE DECISIONES |                        |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|
| SUBESTACIÓN             | DESCRIPCION                    | PUNTAJE                       | DESCRIPCION INDICE DE SALUD | CRITICIDAD         | CATEGORIA DE PRIORIDAD |
| S/E LA TEBAIDA          | TRAFO POTENCIA22 115KV LA TEBA | 88,89                         | MUY BUENO                   | ALTO               | 4                      |
| S/E LA TEBAIDA          | TRAFO POTENCIA23 33KV LA TEBAI | 61,11                         | MEDIO                       | ALTO               | 2                      |
| S/E MONTENEGRO          | TRAFO POTENCIA2 33KV MONTENEGR | 33,33                         | POBRE                       | ALTO               | 1                      |
| S/E QUIMBAYA            | TRAFO POTENCIA25 33KV QUIMBAYA | 88,89                         | MUY BUENO                   | MUY ALTO           | 4                      |
| S/E CAIMO               | TRAFO POTENCIA4 33KV CAIMO     | 88,89                         | MUY BUENO                   | MEDIO              | 4                      |
| S/E PARAGUAICITO        | TRAFO POTENCIA6 33KV PARAGUAIC | 88,89                         | MUY BUENO                   | MEDIO              | 4                      |
| S/E LOS PINOS           | TRAFO POTENCIA17 33KV LOS PINO | 100,00                        | MUY BUENO                   | ALTO               | 4                      |
| S/E CALARCÁ             | TRAFO POTENCIA8 33KV CALARCA   | 77,78                         | BUENO                       | MUY ALTO           | 3                      |
| S/E CABANÁ              | TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA   | 88,89                         | MUY BUENO                   | MUY ALTO           | 4                      |
| S/E CABANÁ              | TRAFO POTENCIA9 33KV CABANA    | 100,00                        | MUY BUENO                   | MUY ALTO           | 4                      |
| S/E SUR                 | TRAFO POTENCIA24 33KV SUR      | 75,00                         | BUENO                       | MUY ALTO           | 3                      |
| S/E PUERTO ESPEJO       | TRAFO POTENCIA13 33KV PTO ESPE | 61,11                         | MEDIO                       | BAJO               | 4                      |
| S/E ARMENIA             | TRAFO POTENCIA20 115KV ARMENIA | 100,00                        | MUY BUENO                   | ALTO               | 4                      |
| S/E LA PATRIA           | TRAFO POTENCIA21 33KV LA PATR  | 88,89                         | MUY BUENO                   | MEDIO              | 4                      |
| S/E PARQUE DEL CAFÉ     | TRAFO POTENCIA18 33KV PARQUE C | 88,89                         | MUY BUENO                   | BAJO               | 4                      |
| S/E MONTENEGRO          | TRAFO POTENCIA11 33KV MONTENEG | 100,00                        | MUY BUENO                   | ALTO               | 4                      |

Tabla 11. Resultados Índice de Salud en Transformadores de Potencia



| DATOS DEL TRANSFORMADOR        |  | VIDA EN LIBROS      |   |   | VIDA POR SALUD                               |  |   |
|--------------------------------|--|---------------------|---|---|--|--|---|
| DESCRIPCION                    | VIDA ÚTIL<br>REMANENTE EN<br>LIBROS (Agosto<br>2017) | EDAD<br>CRONOLÓGICA | VIDA ÚTIL<br>MÁXIMA<br>ESTIMADA EN<br>LIBROS(Marzo<br>2017) | MÍNIMA VIDA<br>ÚTIL ESTIMADA<br>POR SALUD | MÁXIMA VIDA<br>ÚTIL<br>ESTIMADA POR<br>SALUD | DIFERENCIA<br>VIDA UTIL<br>SALUD -VIDA<br>UTIL DE LIBROS<br>(GANANCIA) | TIEMPO<br>MAXIMO PARA<br>REPONER (Años) |
| TRAFO POTENCIA22 115KV LA TEBA | 335  | 235                 | 570   | 250                                       | 255  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA23 33KV LA TEBAI | 335  | 235                 | 570   | 240                                       | 245  | -325   | 10                                      |
| TRAFO POTENCIA2 33KV MONTENEGR | 335  | 232                 | 567   | 232                                       | 237  | -330   | 5                                       |
| TRAFO POTENCIA25 33KV QUIMBAYA | 335  | 103                 | 438   | 118                                       | 123  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA4 33KV CAIMO     | 335  | 163                 | 498   | 178                                       | 183  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA6 33KV PARAGUAIC | 335  | 79                  | 414   | 94  | 99   | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA17 33KV LOS PINO | 335  | 331                 | 666   | 346                                       | 351  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA8 33KV CALARCA   | 335  | 283                 | 618   | 293                                       | 298  | -320   | 15                                      |
| TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA   | 335  | 259                 | 594   | 274                                       | 279  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA9 33KV CABANA    | 335  | 259                 | 594   | 274                                       | 279  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA24 33KV SUR      | 335  | 19                  | 354   | 29  | 34   | -320   | 15                                      |
| TRAFO POTENCIA13 33KV PTO ESPE | 335  | 283                 | 618   | 298                                       | 303  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA20 115KV ARMENIA | 335  | 235                 | 570   | 250                                       | 255  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA21 33KV LA PATR  | 335  | 235                 | 570   | 250                                       | 255  | -315   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA18 33KV PARQUE C | 307  | 271                 | 578   | 286                                       | 291  | -287   | 20                                      |
| TRAFO POTENCIA11 33KV MONTENEG | 279  | 104                 | 383   | 119                                       | 124  | -259   | 20                                      |

Tabla 12. Comparación Vida Financiera Vs Vida Técnica