

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 modelo calculadas, 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.

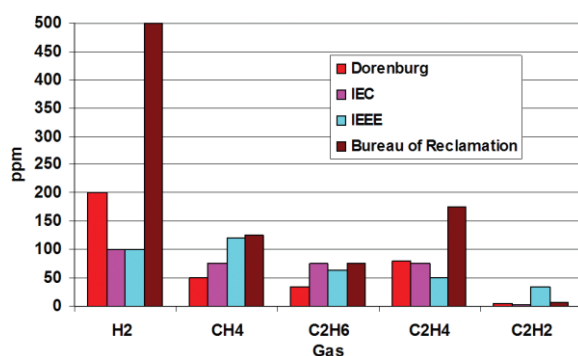


Figura 1. Niveles de alarma para las pruebas de DGA, en los diferentes estándares internacionales [1]

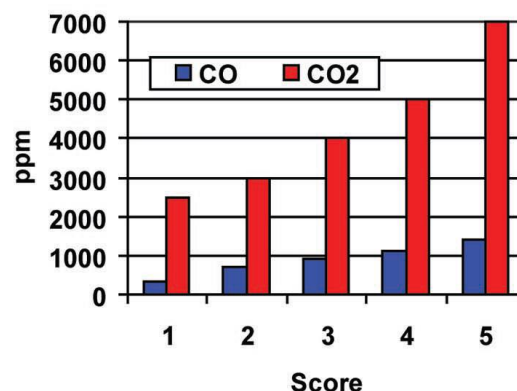
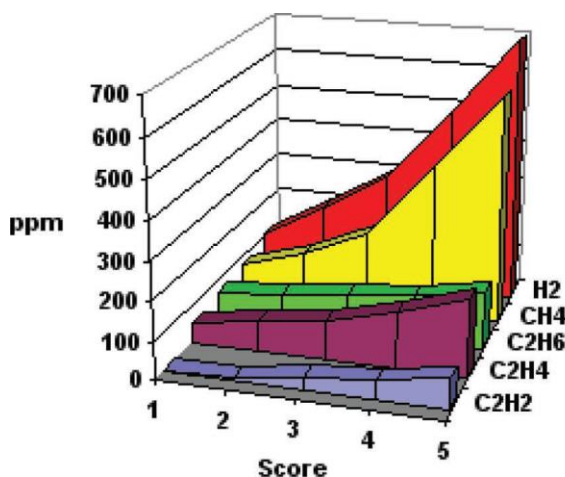


Figura 2. Calificación para el análisis de DGA en transformadores de potencia [1]

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 ≤ 69 kV	69 kV < U < 230 kV	230 kV ≤ U	Score (Si)	Wi
Dielectric Strength kV (2 mm gap)	≥45	≥52	≥60	1	3
	35–45	47–52	50–60	2	
	30–35	35–47	40–50	3	
	≤30	≤35	≤40	4	
IFT dyne/cm	≥25	≥30	≥32	1	2
	20–25	23–30	25–32	2	
	15–20	18–23	20–25	3	
	≤15	≤18	≤20	4	
Acid Number	≤0.05	≤0.04	≤0.03	1	1
	.05–0.1	0.04–1.0	0.03–.07	2	
	0.1–0.2	1.0–0.15	0.07–.10	3	
	≥0.2	≥0.15	≥0.10	4	
Water content (ppm)	≤30	≤20	≤15	1	4
	30–35	20–25	15–20	2	
	35–40	25–30	20–25	3	
	≥40	≥30	≥25	4	
Color	≤1.5			1	2
	1.5–2.0			2	
	2.0–2.5			3	
	≥2.5			4	
Dissipation factor (%) 25 °C	≤0.1			1	3
	0.1–0.5			2	
	0.5–1.0			3	
	≥1.0			4	

Tabla 2. Calificación 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]

- 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.
- Permite conocer como la condición del activo impacta la confiabilidad del sistema y los objetivos del negocio.
- 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.

$$AHI =$$

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

$$\text{inspecciones} = \text{inspecciones realizadas}$$

$$\text{pruebas} = \text{pruebas realizadas}$$

$$\text{problemas} = \text{problemas conocidos}$$

$$\alpha = \text{peso inspecciones realizadas}$$

$$\beta = \text{peso para las pruebas realizadas}$$

γ = 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]

$$HI_{cada_criterio} = \frac{\sum_{i=1}^n Si * Wi}{\sum_{i=1}^n Wi}$$

Ecuación 2. Evaluación de los criterios de condición

Dónde:

n= Número de factores

Si= Puntaje de evaluación

Wi= Peso de cada criterio

No.	Criterio	Peso K: 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)	PES O (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	Montenegro		La Tebaida TR22, Los Pinos, Armenia		
	Mediana					El Caimo, Paraguaicito, La Patria
	Baja			Puerto Espejo		Parque del café
		Muy pobre (0-30)	Pobre (30-50)	Medio (50-70)	Bueno (70-85)	Muy bueno (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

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

Autores

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, 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, teléfono: 3147320108, Armenia Quindío Colombia.

Anexos

Datos de identificación

DATOS DE IDENTIFICACION								
ITE M	No. Activo	Activo	Código	Subestación	Marca	Número de Serie	Costo Histórico	Potencia
1	47841	TRANSFORM ADOR 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	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR23	S/E LA TEBAIDA	GEC ALSTHOM UNINDO 10/12.5MV A	A981523 8-02	\$ 574.437.471,90	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A
3	48081	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR1	S/E MONTENE GRO	SIEMENS 10/12.5MV A	3039013 08	\$ 835.314.276,99	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A
4	48230	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR29	S/E QUIMBAY A	ABB 10/12.5MV A	200721	\$ 683.481.730,25	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A
5	48382	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR12	S/E CAIMO	ABB 5/6.25MVA	127020	\$ 639.634.993,74	TRF POT. 33/13.2kV 5/6,25MVA
6	48651	TRANSFORM ADOR 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	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR17	S/E LOS PINOS	ABB 10/12.5MV A	95860	\$ 574.512.333,90	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A
8	51014	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR8	S/E CALARCÁ	SIEMENS 10/12.5MV A	132901- 1307	\$ 867.668.605,56	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MV A
9	49115	TRANSFORM ADOR POTENCIA	TR10	S/E CABAÑA	AEG 15/18.75M VA	312370- 01	\$ 292.089.815,31	TRF POT. 33/13.2kV 15/18.75M VA

10	49116	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR9	S/E CABAÑA	AEG 15/18.75MVA	312360-01	\$ 292.089.815,31	TRF POT. 33/13.2kV 15/18.75MVA
11	48009	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR24	S/E SUR	MITSUBISHI 15/20MVA	567449	\$ 523.867.223,08	TRF POT. 33/13.2kV 15/20MVA
12	48604	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR13	S/E PUERTO ESPEJO	SIEMENS 10/12.5MVA	P9-132900	\$ 287.616.588,74	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA
13	51013	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR20	S/E ARMENIA	GEC ALSTHOM UNINDO 075MVA	A-9815240	\$ 1.229.029.097,03	TRF POT. 115/33kV 30/40MVA
14	49096	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR21	S/E LA PATRIA	GEC ALSTHOM UNINDO 10/12.5MVA	A9820238-01	\$ 583.088.284,57	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA
15	49281	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR18	S/E PARQUE DEL CAFÉ	BROWN BOVERI 2/2.7MVA	10685	\$ 153.217.887,88	TRF POT. 33/13.2kV 2/2.7MVA
16	48380	TRANSFORMADOR POTENCIA	TR2	S/E MONTENE GRO	SIEMENS 10/12.5MVA	380891308	\$ 53.933.439,52	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA

Tabla 7. Datos de identificación de los transformadores de potencia

Datos de costos

ITEM	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	47841	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	392	335
2	47842	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	392	335
3	48081	S/E MONTENE GRO	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5MVA	31/08/2017	17/04/1998	17/04/1998	17/04/1998	01/01/168502	392	335

4	482 30	S/E QUIMBAYA	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	31/08/2 017	17/11/2 008	01/01/2 009	31/12/2 009	01/01/2009	39 2	335
5	483 82	S/E CAIMO	TRF POT. 33/13.2kV 5/6,25MV A	31/08/2 017	17/08/2 001	01/01/2 004	20/06/2 008	01/01/2004	39 2	335
6	486 51	S/E PARAGUAI CITO	TRF POT. 33/13.2kV 5/6,25MV A	31/08/2 017	17/12/2 011	01/01/2 011	20/10/2 011	01/01/2011	39 2	335
7	509 77	S/E LOS PINOS	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	31/08/2 017	17/11/2 000	01/01/1 990	13/09/1 994	01/01/2015	39 2	335
8	510 14	S/E CALARCÁ	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	31/08/2 017	17/11/1 999	01/01/1 994	02/02/2 001	01/01/1994	39 2	335
9	491 15	S/E CABAÑA	TRF POT. 33/13.2kV 15/18.75 MVA	31/08/2 017	17/05/2 003	01/01/1 996	24/06/1 998	01/01/1996	39 2	335
10	491 16	S/E CABAÑA	TRF POT. 33/13.2kV 15/18.75 MVA	31/08/2 017	17/05/2 003	01/01/1 996	24/06/1 998	01/01/1996	39 2	335
11	480 09	S/E SUR	TRF POT. 33/13.2kV 15/20MV A	31/08/2 017	17/02/2 007	01/01/2 016	31/12/2 009	01/01/2016	39 2	335
12	486 04	S/E PUERTO ESPEJO	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	31/08/2 017	17/05/2 002	01/01/1 994	13/07/1 995	01/01/2015	39 2	335
13	510 13	S/E ARMENIA	TRF POT. 115/33kV 30/40MV A	31/08/2 017	17/12/2 008	01/01/1 998	30/11/2 007	01/01/1998	39 2	335
14	490 96	S/E LA PATRIA	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	31/08/2 017	17/01/2 009	01/01/1 998	30/11/2 007	01/01/1998	39 2	335
15	492 81	S/E PARQUE DEL CAFÉ	TRF POT. 33/13.2kV 2/2,7MV A	31/08/2 017	17/05/2 000	01/01/1 995	20/06/2 008	01/01/2016	36 4	307
16	483 80	S/E MONTENE GRO	TRF POT. 33/13.2kV 10/12.5M VA	01/09/2 017	17/12/1 996	01/01/2 009	01/07/1 905	01/01/2009	33 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 CABAÑA	TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA	1,00	10	4	MUY BUENA
S/E CABAÑA	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 CABAÑA	TRAFO POTENCIA10 33KV CABANA	88,89	MUY BUENO	MUY ALTO	4
S/E CABAÑA	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 REMANENTE EN LIBROS (Agosto 2017)	EDAD CRONOLÓGICA	VIDA ÚTIL MAXIMA ESTIMADA EN LIBROS (Marzo 2017)	MÍNIMA VIDA ÚTIL ESTIMADA POR SALUD	MÁXIMA VIDA ÚTIL ESTIMADA POR SALUD	DIFERENCIA VIDA UTIL SALUD -VIDA UTIL DE LIBROS (GANANCIA)	TIEMPO MAXIMO PARA 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