

## METODOLOGÍA FMEA EN LA IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN EN EL BAJO CAUCA

VALENTINA AGUIRRE

CALLE 65B #80ª-91 Cel: 311 – 341 - 7358

E-mail: vaguirrer@unal.edu.co

Medellín. – Antioquia

### **Abstract:**

Losses are a problem that affects most industrial processes, mainly because this translates into high costs and decreased efficiency, in the case of the power grid, operating costs are linked to sizing and of course to losses which are related to the technical, commercial and administrative capacity of the network operator, in the specific case of the region Bajo Cauca, these losses are above 5%, which suggests a critical case and evidence that the actions taken up to the moment they are not being effective, this document studies the possible causes of losses and how maintenance can be counteracted, using a criticality analysis to define the study points and defining the losses as the most important functional failure. FMEA methodology as an analysis tool and means to define what activities are being done and can be done er from the maintenance for the reduction of these.

### **Resumen:**

Las pérdidas son un problema que afecta la mayoría de los procesos industriales, principalmente porque esto se traduce en altos costos y disminución en la eficiencia. En el caso de la red eléctrica, los costos de operación están ligados al dimensionamiento y por supuesto a las

pérdidas que se relacionan con la capacidad técnica, comercial y administrativa de la entidad operadora de la red. En la región Bajo Cauca estas pérdidas están por encima del 5% lo que sugiere que las acciones tomadas hasta el momento no están siendo totalmente efectivas. En este documento se pretende estudiar las posibles causales de pérdidas y como desde el mantenimiento pueden contrarrestarse, utilizando un análisis de criticidad para definir los puntos de estudios y definiendo las pérdidas como la falla funcional más importante, se utiliza la metodología FMEA como herramienta de análisis donde básicamente se obtuvo como resultado un listado de actividades enfocadas a la recuperación de energía perdida.

**Palabras Clave:** Pérdidas, energía, sistema de distribución, FMEA, mantenimiento, usuario, transformador, medida, corriente, tensión, consumo.

### **Keywords:**

Losses, energy, distribution system, FMEA, maintenance, user, transformer, measure, current, voltage, consumption

### **Introducción:**

El mantenimiento es una herramienta que permite en la industria no solo aumentar la productividad de los procesos, disminuir costos o ser más confiables [1], sino que también se enfoca en el mejoramiento de otros parámetros industriales como lo son la eficiencia energética, en el caso de las redes de distribución de energía las pérdidas pueden ser de carácter técnico y de carácter no técnico, ambas requieren de actividades periódicas de control y de reacción que permitan a los operadores de red la disminución de las mismas [2]

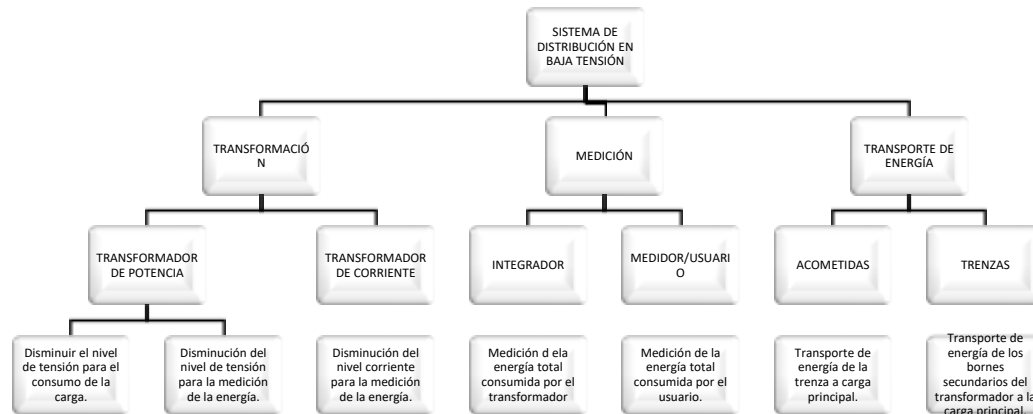
Las pérdidas de energía se definen como la diferencia entre la energía comprada y la energía facturada. En la región Bajo Cauca estas pérdidas están por encima del 5%, [2] lo que representa por lo menos 1,2 Gwh [2] en energía mensualmente, estas pérdidas se atribuyen en la mayoría de los casos a circunstancias no técnicas tales como usuarios fraudulentos, problemas en el proceso de lectura o dificultades administrativas del proceso, en una menor medida la perdidas también pueden ser justificadas a partir de causales técnicas, que sólo pueden considerarse de este tipo cuando se relacionan con problemas de diseño de los equipos, diseño de redes o circunstancias propias del entorno que afecten la integridad de los componentes del proceso [4]. Las pérdidas asociadas a razones técnicas se calculan por lo general con fórmulas matemáticas y se consideran inherentes al sistema, representan del 3% al 5% de las pérdidas totales del sistema [4], las cuales pueden considerarse mínimas en comparación de otro tipo de pérdidas no técnicas [5] pero también pueden ser atacadas por medio de actividades de mantenimiento.

Debido al nivel de pérdidas de la región, solo se atacan las pérdidas no técnicas [5] [2], por medio de actividades direccionadas por causales justificadas en kWh, haciendo un estudio puntual, lo que implica que los transformadores o la misma red solo sean intervenidos cuando el problema se hace visible, lo que conlleva altos costos y en algunos casos reprocesos. Lo que se busca con el desarrollo de este documento es establecer la relación que hay entre el mantenimiento y las pérdidas de energía en las redes de distribución, definiendo el problema de las pérdidas de energía desde la eficiencia de la red, entonces así se podrá establecer que actividades direccionadas por medio del mantenimiento representan una recuperación de energía, esto aplicado en puntos de la red donde la identificación, gestión, y recuperación de energía no sea trivial, si bien no puede considerarse una solución inmediata, si nos permite realizar tareas sostenibles en el tiempo evitando futuras pérdidas.

### **Metodología:**

Para el desarrollo del proyecto se siguieron los siguientes pasos:

1. Selección de las fronteras por medio de subsistemas, que permitan establecer actividades específicas en pro a la reducción de pérdidas mediante un diagnóstico inicial. En el esquema 1 se definen la función de los subsistemas dentro del proceso.



Esquema 1. Arbol funcional sistema de estudio.

## 2. Identificación de los puntos críticos dentro del procesos.

En este caso, el sistema contaba con varios componentes importantes, entre los que se incluyeron los equipos de medida, conducción y transformación de la energía. Estos tres componentes se convierten en uno solo al momento de definir los puntos críticos dentro de la red. Se definieron 3 puntos en todo el sistema de distribución de baja tensión del Bajo Cauca que cumplieron con los siguientes criterios:

- Localidad: Se seleccionaron los transformadores que pertenecían a la localidad con mayor índice de pérdidas en la región Bajo Cauca [6].
- Intervenciones: Se define intervención a cada actividad que se dirija a la reducción de pérdidas de un punto en específico, en este caso se seleccionaron aquellos puntos con más de 1 intervención en el último año [6].
- Promedio de pérdidas: Las pérdidas de cada punto se evalúan de manera mensual

por medio de un balance, entre un medidor integrador que mide la energía entregada por el subsistema de transformación y la suma de varios medidores que registran el consumo de todos los usuarios asociados al punto de estudio, este criterio se evalúa como el promedio de balance de los últimos 4 meses debido que en algunos meses se presentan anomalías totalmente independiente a las causales reales de pérdidas, se seleccionaron aquellos puntos con un promedio mayor a 200kwh [6].

- Pérdidas /Instalación: Este criterio se evalúa el porcentaje de pérdidas que aporta cada instalación asociada al punto de estudio y se define como [6]:

$$C4 = \frac{\text{Promedio de pérdidas}}{\text{Total instalaciones asociadas}} \quad (1)$$

Donde  $C4 = \text{Pérdidas} / \text{Instalación}$

3. Identificar mediante el uso del FMEA (Análisis de falla funcional) como herramienta, actividades asociadas a la

recuperación de energía [6] teniendo en cuenta lo siguiente:

- Definir funciones principales.
  - Identificar fallas funcionales y modos de fallas.
  - Evaluación de los resultados.
4. Definir indicadores que permitan la medición de la energía recuperada a largo plazo.

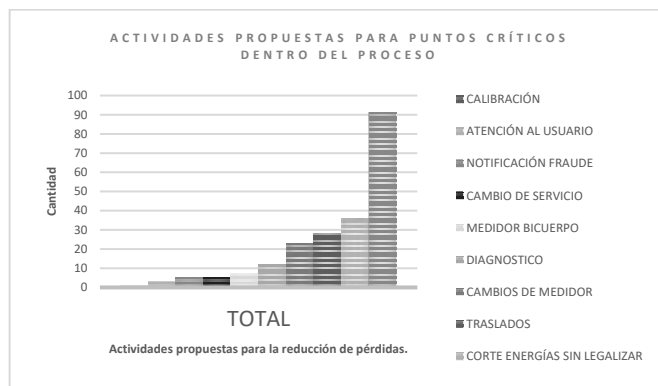
### **Resultados:**

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación se seleccionan 12 puntos críticos dentro de la red, que cumplen con las características correspondientes:

Tabla 1. Selección de puntos críticos dentro de la red

PUNTOS	INTERVENCIONES	PERDIDAS MENSUALES(kwh)	PERD/INS T
PUNTO 1	2	1780,3	18,9
PUNTO 2	2	527,9	131,9
PUNTO 3	2	1232	123,2
PUNTO 4	2	3212,8	27,2
PUNTO 5	2	3602,4	94,8
PUNTO 6	2	568,5	94,7
PUNTO 7	2	8987,6	34,5
PUNTO 8	2	3071,1	27,9
PUNTO 9	2	4574,4	26,2
PUNTO 10	2	1104,1	36,8
PUNTO 11	2	2883,3	80,0
PUNTO 12	2	2662,8	22,1
<b>Total general</b>	<b>24</b>	<b>34207,6</b>	<b>131,9</b>

A partir de la selección y teniendo en cuenta diagnósticos realizados con anterioridad, se definen que actividades propuestas contribuyen con la recuperación de energías de los casos de estudios.



Esquema 2. Actividades propuestas a puntos críticos dentro de la red.

En el esquema anterior puede observarse como actividades enfocadas al funcionamiento del sistema como: la calibración, diagnóstico, cambios de medidores y traslados (modificación en la red) juegan un papel importante en la recuperación de energía en puntos donde las pérdidas son críticas.

Teniendo en cuenta los puntos en la tabla 1 especificados, se procede a realizar un análisis FMEA, cuya evaluación final se hizo mediante criterios de ocurrencia y severidad, donde fueron clave la operatividad y el tiempo de reparación, a partir de allí se ubicaron en las zonas de riesgo definidas a continuación:

- Zona de riesgo bajo: Están definidos todos los modos de falla solo representan una pérdida parcial de las funcionalidades del sistema y su reparación y detección no requieren de muchos recursos.
- Zona de riesgo medio: Están definidos todos los modos de falla que representan una pérdida parcial de las funcionalidades del sistema, pero su reparación y detección requieren de muchos recursos.
- Zona de riesgo alto: Están definidos todos los modos de falla que representan una

pérdida total de las funcionalidades del sistema.

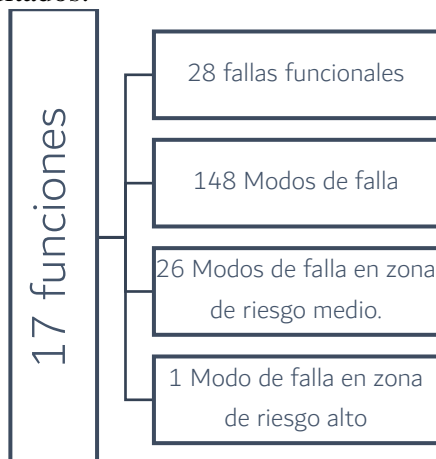
Tabla 2. Función y fallas funcionales establecidas para lo puntos críticos seleccionado [8]s.

F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL
1	No permitir la manipulación de ninguno de los elementos que hacen parte de la red (Estar blindado contra manipulación)	1.1	El sistema es vulnerable a la manipulación de usuarios
		1.2	El sistema es vulnerable a los efectos de agentes externos (Lluvia, animales)
		1.3	Los medidores de energía son accesibles a usuarios externos para su manipulación y fraude
		1.4	Las acometidas de cada usuario son vulneradas
		1.5	Las borneras son accesibles a usuarios para conexiones ilegales
2	No producir pérdidas por encima de un índice de 5.	2.1	Producen pérdidas mayores a un índice de 5
3	No producir pérdidas de 200kwh	3.1	Producen pérdidas mayores a 200kwh por mes
4	Estar a una temperatura de al menos 75°C	4.1	El funcionamiento del equipo está a una temperatura mayor a 75°C
5	Mantener los niveles de tensión en las borneras entre 200V y 220V	5.1	El sistema tiene una tensión per encima de los 220V
		5.2	El sistema tiene una tensión por debajo de los 220V
6	Medir toda la energía consumida por usuarios y transformador.	6.1	El sistema mide por debajo de la energía consumida por el transformador
		6.2	El sistema mide por encima de la energía consumida por el transformador
		6.3	El sistema no mide la energía consumida por el transformador
		6.4	El sistema mide por debajo de la energía consumida por el usuario
		6.5	El sistema mide por encima de la energía consumida por el usuario
		6.6	El sistema no mide la energía consumida por el usuario
7	Transformar los niveles de corrientes altos a niveles de corrientes alrededor de 5A para ser medidos.	7.1	No se transforma la corriente a niveles donde pueda ser medida
8	No permitir el paso del flujo eléctrico a través de elementos exteriores como la carcasa, o elementos accesibles al usuario.	8.1	Flujo eléctrico de elementos exteriores como la carcasa y elementos fuera del propio sistema.



9	Garantizar el suministro eléctrico de buena calidad a cada uno de los usuarios.	9.1	No hay flujo eléctrico del sistema a los usuarios
10	Permanecer en buenas condiciones estéticas	10.1	El sistema no permanece en buenas condiciones estéticas.
11	Registrar y mostrar claramente las lecturas de todos los medidores. (integrador - mes usuario)	11.1	No se registran las medidas de manera adecuada (Dígitos borrosos, Display apagado)
12	Evitar fugas de aceite (En el caso del transformador)	12.1	Hay fugas de aceite en el sistema
13	Evitar sobrecalentamientos en el sistema	13.1	Hay sobrecalentamiento en el sistema
14	Bloquear adecuadamente los medidores por medio de sellos y tornillos EP.	14.1	Bloqueo inadecuado de los medidores.
15	Garantizar la medida de todo el flujo de energía.	15.1	No se garantiza la medida del flujo de energía.
16	Transportar el flujo eléctrico a la carga principal (Residencial, industrial y comercial)	16.1	No transporta el flujo eléctrico a la carga principal
17	Transformación de nivel de tensión de 13,2kv y 7,6kv a 220v	17.1	No hay transformación de los niveles de tensión adecuados.
18	Cumplimiento de las normas RA8	18.1	No cumple con la normatividad establecida.

Puedo observarse en la tabla 3 que la definición de las funciones de la red de baja tensión del Bajo Cauca se enfocó en la eficiencia energética y la disminución de puntos vulnerables en la misma, a partir de las funciones y fallas funcionales descritas en la tabla 3, se obtuvieron los siguientes resultados:



Esquema 3. Resultado análisis FMEA [8].

Modos de falla en zona de riesgo medio:

1. Caja hermética deteriorada.
2. Caja hermética sin tapa.
3. Bornera accesible al usuario
4. Borneras expuestas.
5. Conexiones ilegales
6. Transformadores de corriente desconectados.
7. Mala conexión de los transformadores de corriente.
8. Transformadores de corriente inadecuados.
9. Apilamiento de conexiones (borneras, trenzas y medidores)
10. Los elementos no cumplen con las distancias de seguridad.

Modos de falla en la zona de riesgo alto:

### 1. Líneas de distribución primarios y secundarias caídas

Para contrarrestar los modos de fallas hallados en el estudio se proponen las siguientes actividades en los puntos críticos:

- ✓ Revisión de conexiones internas y externas de los equipos de medida, que incluya verificación de continuidad, nivel de tensión adecuado y sistema de descarga tierra.
- ✓ Revisión de conexión de equipos de transformación que incluya: prueba de factor, nivel de tensión y continuidad.
- ✓ Verificación del nivel de aislamiento de todos los equipos incluidos en la red.
- ✓ Proceso de reemplazo para todos los equipos identificados como malos o en falla funcional.
- ✓ Cumplimiento de los parámetros estéticos establecidos por la norma.

Para el seguimiento de la efectividad de las labores propuestas se definieron los siguientes indicadores:

$$ER = PPI - PPSI \quad (2)$$

$$ERM = \frac{PPI - PPSI}{CIM} \quad (3)$$

Donde:

*ER* es energía recuperada

*ERM* es energía recuperada por actividades de mantenimiento.

*PPI* es pérdida preintervención

*PPSI* es pérdidas posintervención

*CIM* es cantidad de intervenciones de mantenimiento.

### Discusión:

Actualmente el proceso de diagnósticos e identificación de pérdidas se está haciendo bajo una metodología de reacción, donde solo se tienen en cuenta actividades para la recuperación inmediata de la energía y no para la disminución de la vulnerabilidad de la red, aunque la metodología es efectiva en la mayoría de los casos, existen puntos críticos en donde la identificación y gestión de las pérdidas requieren de procesos más complejos, es ahí donde surge la necesidad de realizar un análisis general que nos permite estudiar de manera globalizada todas las posibles causales y atacarlas según el nivel de riesgo definido por el mismo estudio.

### Conclusiones:

- El FMEA es una herramienta útil para el análisis de cualquier proceso si es usado bajo las características propias de la operación estudiada, en nuestro caso permitió identificar aquellos modos de falla que en la red estaba ocasionando pérdidas de energía eléctrica.
- Considerar la pérdida de energía como pérdida de función del proceso puede mejorar la rentabilidad de la operación.
- La implementación de indicadores que relacionen el mantenimiento con las pérdidas energéticas puede resultar complicado si no se tienen las mediciones o información correcta, por lo que es necesario la implementación de un plan de

ingreso de datos y de medida que relacione variables físicas con nuestro problema.

- Gran parte de lo que actualmente es considerado pérdidas no técnicas, en realidad corresponde a actividades de mantenimiento de la red, ya que está directamente relacionado con pérdidas de la función de los equipos, en los casos de estudios críticos corresponden a un 50% del total.
- El no mantenimiento periódico de la red secundaria ocasiona pérdidas de energía, ya que esto está directamente relacionado con vulnerabilidad de la Red.

### **Bibliografía**

- [1] Y. O. S. M. P. DAIRO H. MESA GRAJALES, «LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO,» *Scientia et Technica*, n° 30, 2006.
- [2] H. O. Porras, Las pérdidas de energía: Enfoque Operativo.
- [3] Equipo control pérdidas Bajo Cauca, «Comite Operativo 2018,» Caucasia, 2018.
- [4] CREG (Comisión de regulación de energía y gas), «PROPUESTA PARA REMUNERAR PLANES DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS NO TÉCNICAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN LOCAL,» BOGOTA, 2011.
- [5] T. M. A. \*. N. K. R. V. S. A. S. M. a. M. Y. Mau Teng Au \*, «A Simplified Approach in Estimating Technical Losses in Distribution Network Based on Load Profile and Feeder Characteristics,» Universiti Tenaga Nasional/Electrical Power Engineering Department, Kajang, Selangor, Malaysi, 2008.
- [6] S. B. A. K. B. P Ravi Babu, «HVDS approach for reducing the Technical and Non-technical losses to enhance the Electrical Distribution System performance,» 2015.
- [7] E. C. P. B. CAUCA, *CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA TRANSFORMADORES DE ALTAS PÉRDIDAS*, Medellín, 2014.
- [8] R. E. L. R. ERICK ABILIO HERNANDEZ GRANDE, «DESARROLLO DE MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGETICA (EECM),» UNIVERSIDAD DE BOSCO, ANTOGUO CUSCATLAN, 2017.
- [9] A. Sanín, *FORMATO RCM SOFASA*, Medellín, 2017.

Valentina Aguirre Ingeniera electricista de la Universidad Nacional, estudiante de especialización en mantenimiento y profesional analista del equipo control pérdidas Bajo Cauca.



07/02/2019

Bogotá DC

**Señores  
ACIEM Asociación Colombiana de Ingenieros**

Convocatoria del Congreso Internacional de Mantenimiento 2019

Cordial saludo,

Por medio de la presente hago entrega formal de la documentación requerida para participar en la Convocatoria del Congreso Internacional de Mantenimiento 2019.

El proyecto que presento se titula “METODOLOGÍA FMEA EN LA IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN EN EL BAJO CAUCA ”

Agradezco de antemano su atención.

Atentamente,

*Valentina Aguirre R*

NOMBRE DEL PARTICIPANTE  
Documento de identidad  
Datos de contacto