



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

Análisis de Indicadores de Continuidad para el Mejoramiento del Servicio Técnico del Sistema Metropolitano de Distribución

Daniel Ríos, Mario Arévalo, Walter Causarano

Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos, Facultad Politécnica - UNA

Paraguay

RESUMEN

El trabajo busca mejorar la calidad del servicio eléctrico en Asunción y el área metropolitana mediante un análisis de los indicadores de continuidad del suministro. Como finalidad, se propone planificar las inspecciones visuales de líneas aéreas de media tensión (23 kV), basándose en el desempeño del Sistema Metropolitano de Distribución de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE). Se ha llevado a cabo una investigación de campo en el seno de la empresa distribuidora para relevar los métodos actuales de control y evaluación de indicadores de continuidad, así como, de ejecución de inspecciones visuales. El presente trabajo fue elaborado entre Abril de 2014 y Marzo de 2015, en Asunción y el área metropolitana, zona que, en ese entonces, representaba el 52,72% del consumo eléctrico de Paraguay. Se ha considerado como muestra los registros de indicadores de 2012, 2013 y 2014, y de inspecciones, de 2013. Mediante visitas técnicas para relevamiento de datos, se ha verificado que el método de gestión empleado actualmente por la ANDE, no es eficiente y tampoco se ajusta a parámetros internacionales. Se propone estandarizar los niveles de calidad deseados a través de metas sobre distintos plazos, cuyo cumplimiento está supeditado a la incorporación de cuadrillas exclusivas de mantenimiento preventivo. La evaluación técnica y financiera ha corroborado que la implementación de la propuesta es factible. Como recomendaciones finales, la adaptación del trabajo a los otros sistemas de distribución operativos en el país y la consideración de otras técnicas de mantenimiento preventivo, tales como la termografía, son analizadas.

PALABRAS CLAVES

Calidad de Servicio Técnico, Indicadores de Continuidad, Metas de Calidad, Mantenimiento de Líneas de Distribución, Líneas Aéreas.



1. INTRODUCCIÓN

Últimamente, las interrupciones del suministro eléctrico afectan frecuentemente a los usuarios de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), ente encargado de proveer el servicio en todo el territorio paraguayo. En ese sentido, cabe definir que las líneas del segmento de distribución son las más vulnerables del sistema eléctrico, en el sentido de estar expuestas a mayores factores externos [1]. Su mantenimiento debe contemplar adecuaciones que contribuyan al aumento efectivo de la confiabilidad de los componentes y, al mismo tiempo, resguardar los intereses de la distribuidora respecto al ingreso bruto de explotación no percibido [2], [3].

En ese contexto surge este trabajo, el cual toma como muestra las líneas de distribución que conforman el Sistema Metropolitano de Distribución (SMD) de la ANDE, encargado de abastecer la demanda eléctrica de Asunción y el área metropolitana, con el objetivo de evaluar el mejoramiento progresivo de la continuidad del suministro de los consumidores, mediante la planificación óptima de tareas de mantenimiento y la coordinación del trabajo de los encargados del sistema.

2. OBJETIVO

Mejorar la calidad del suministro en el SMD, a través del mejoramiento de los indicadores de continuidad debidos a causas internas de distribución.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El método propuesto consiste en un plan de mantenimiento preventivo de las líneas de distribución aéreas, basado en el control y la evaluación de la calidad del servicio técnico [4], [5] prestado por el SMD, de la ANDE. La guía metodológica del proceso propuesto se muestra en la Figura 1.

Actualmente, esta distribuidora evalúa la calidad mencionada a través de dos indicadores [6]:

- FEP: Frecuencia Equivalente de Potencia Instalada
- DEP: Duración Equivalente de Potencia Instalada

Este trabajo toma como muestra los registros históricos anuales de estos índices, tanto de líneas de distribución como del SMD, correspondientes a 2012, 2013 y 2014 [7], [8], [9]; por otra parte, para identificar el origen de las interrupciones se ha considerado la descripción disponible en [10]. La discriminación de indicadores de acuerdo a causas externas y propias de distribución emplea datos disponibles en [11], y está basado en el hecho de que eventos de origen externo escapan al alcance del mantenimiento de líneas de distribución.

La definición de metas de calidad busca referir la adecuación de los niveles de continuidad del SMD, durante el plazo de implementación del proyecto. La metodología propuesta para establecer dichas metas pertenece a la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) de Brasil [12], [13], [14]. Siguiendo el método revisado, los promedios de desempeño FEP y DEP obtenidos para las líneas de distribución del SMD, de 2012 a 2014, fueron ordenados de manera decreciente, a partir del mayor valor obtenido. Excluyéndose el 5% respectivo a los mayores y peores desempeños, fueron formadas sendas curvas de distribución normal de probabilidad, tomándose como referencia de calidad el Percentil 20 [15]. Si bien esa metodología establece el plazo de cumplimiento de 8 años, esta propuesta también incluye metas intermedias para horizontes de 4 y 6 años, de manera a obtener otras alternativas para analizar la adecuación de calidad de servicio técnico en el SMD.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

La principal técnica de mantenimiento preventivo empleada actualmente por la distribuidora consiste en la inspección visual [16]; el recorrido contempla, de manera fija, los tramos comprendidos entre el primer y el cuarto seccionador de maniobra de los alimentadores, independientemente a su extensión total. El criterio de selección de líneas a inspeccionar no se encuentra sistematizado [17].

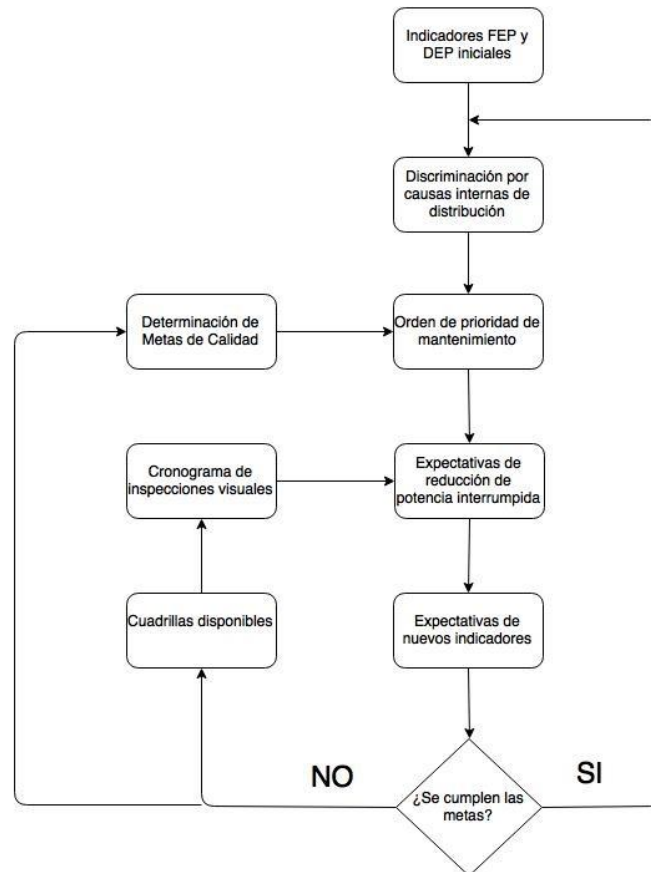


Figura 1: Guía metodológica del proceso propuesto.

Tomando como muestra los registros de tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas en 2013, se han obtenido tendencias de reducción de indicadores FEP y DEP, expresadas como una función polinómica de segundo grado de la relación porcentual entre la cantidad de tramos inspeccionados (3, de manera fija), y la cantidad total de tramos de los alimentadores respectivos. Estas tendencias son empleadas para estimar una expectativa de realización de tareas de mantenimiento preventivo, considerando la intervención de alimentadores de acuerdo a su contribución a la potencia total interrumpida de sistema, es decir, siguiendo un orden de prioridad que inicia con aquel de mayor valor y, sucesivamente, en orden descendente, hasta completar la capacidad de inspecciones visuales de la distribuidora.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I pueden apreciarse los indicadores obtenidos para el SMD, tanto globales como discriminados por causas. Puede verificarse que los índices correspondientes a causas propias del sistema de distribución representan, en promedio, 66,32% y 83,36% de FEP y DEP, globales, respectivamente.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
 25 y 26 de Agosto de 2016

Tabla I: Indicadores FEP y DEP obtenidos para el SMD.

SMD	Global	Causas Externas	Causas Propias	Global	Causas Externas	Causas Propias
Año	FEP (veces de interrupción)			DEP (horas de interrupción)		
2012	19,81	7,61	12,20	16,64	3,49	13,14
2013	15,84	5,21	10,63	15,95	2,76	13,19
2014	19,40	5,77	13,63	17,09	1,99	15,09

Considerando los indicadores FEP y DEP debidos a causas propias en cada línea de distribución, las metas de calidad que se determinan para el SMD con el procedimiento de la ANEEL arrojan como resultado global 4,91 veces y 5,17 horas, respectivamente. El cronograma de cumplimiento, con metas anuales intermedias a plazos de 4, 6 y 8 años, se presenta para ambos índices en la Tabla II.

Tabla II: Cronograma de Metas intermedias FEP y DEP.

Horizonte	4 Años	6 Años	8 Años	4 Años	6 Años	8 Años
Año	Metas FEP (veces de interrupción)			Metas DEP (horas de interrupción)		
0 (2014)	13,63	13,63	13,63	15,09	15,09	15,09
1	10,56	11,50	12,00	11,55	12,63	13,20
2	8,18	9,70	10,56	8,84	10,56	11,55
3	6,34	8,18	9,30	6,76	8,84	10,10
4	4,91	6,90	8,18	5,17	7,39	8,84
5		5,82	7,20		6,18	7,73
6		4,91	6,34		5,17	6,76
7			5,58			5,91
8			4,91			5,17

Tomando los registros de tareas de mantenimiento preventivo ejecutadas en 2013, las variaciones de FEP y DEP, experimentadas por cada línea de distribución fueron organizadas en un gráfico de dispersión XY, junto con el porcentaje inspeccionado respecto de la extensión total expresada en tramos. Con dicha información, se había esperado obtener sendas tendencias en forma de parábola sobre el plano negativo, con inicio en el origen de coordenadas y vértice entre el 50% y 100% del eje de abscisas; estas curvas reflejarían directamente la progresiva reducción de los indicadores de continuidad a medida que aumenta el tramo inspeccionado por alimentador. Las mismas, sin embargo, no fueron obtenidas inmediatamente a causa de 8 puntos extremos que perjudicaban sus formas. En este sentido, se propuso desconsiderar dichos desempeños atendiendo a que para el cálculo de los indicadores de continuidad habían sido incluidos eventos cuya adecuación se encuentra fuera del alcance del mantenimiento de líneas aéreas, tales como fallas en instalaciones subterráneas, condiciones climáticas adversas, entre otros. Así, las tendencias de efectividad de mantenimiento preventivo a adoptar definitivamente se muestran en la Figura 2, respectivamente para el FEP y el DEP.

De acuerdo a la Figura 2, puede esperarse en promedio una efectividad máxima para el 55% de recorrido de los alimentadores, con una reducción de FEP, del 55% y de DEP, del 58%. Para alimentadores no intervenidos (0% de recorrido), suponiendo una situación ideal, se estima una variación de indicadores de 0%. Dicha situación es ajustada a la hora de estimar las expectativas de reducción de indicadores mediante el

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

mantenimiento preventivo, donde se considera, en principio, la eventual variación de la potencia media instalada, así como también la influencia de factores ajenos al alcance del mantenimiento de líneas aéreas, mencionados anteriormente. En este sentido, se propone ajustar el cálculo de indicadores brutos en la etapa de estimación con la tasa promedio de variación tendencial experimentada en el periodo 2012-2014. Dicho promedio fue de 7,69% para el indicador FEP, y 7,39% para el DEP.

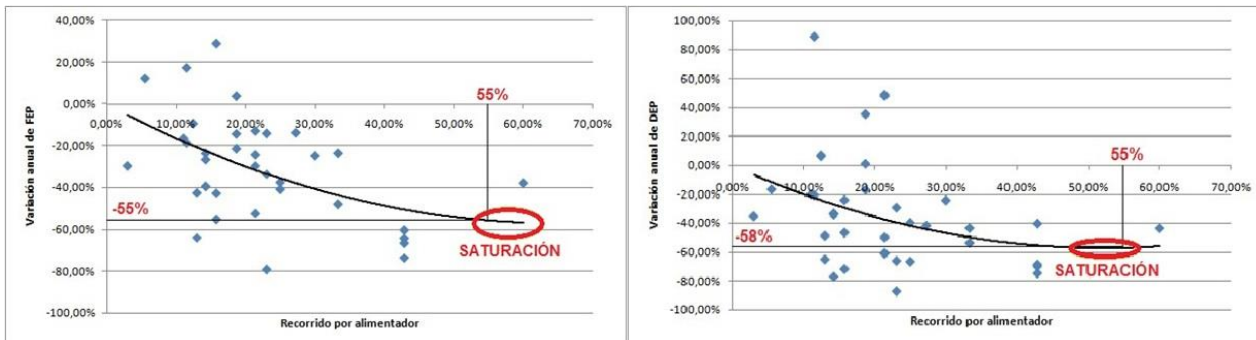


Figura 1: Tendencia de efectividad de mantenimiento preventivo en la reducción del FEP y del DEP, respectivamente.

Debido a las particularidades del método, la cantidad de inspecciones visuales requeridas para cumplir con las metas de calidad se encuentra expresada en tramos y no en alimentadores. Previendo la eventual incorporación de cuadrillas exclusivas de mantenimiento preventivo, en la Tabla III se presenta la capacidad de recorridos visuales que, en dicho caso, la distribuidora sería capaz de ejecutar, en base a la cantidad de días trabajados y a la cantidad de alimentadores inspeccionados en [16].

Tabla III: Capacidad de inspecciones visuales de la distribuidora.

Cuadrillas agregadas	Tramos a inspeccionar
0 (capacidad actual)	129
1	216
2	303
3	390
4	477
5	564

Aplicando el método descrito, con la capacidad actual de inspecciones visuales, los niveles de continuidad esperados no cumplen con ninguna de las metas de calidad, con inspecciones de, solamente, 11 alimentadores al año. Agregando 2 cuadrillas de mantenimiento preventivo, los niveles de continuidad obtenidos cumplen con las metas sobre el horizonte de 8 años. La estimación arroja como resultado la inspección de 24 alimentadores al año. Por otra parte, agregando 3 cuadrillas de mantenimiento preventivo, los niveles de continuidad esperados cumplen con las metas sobre el horizonte de 6 años, inspeccionándose 32 alimentadores al año. Por último, y agregando 4 cuadrillas de mantenimiento preventivo, los niveles de continuidad obtenidos cumplen con las metas sobre el horizonte de 4 años. La estimación arroja como resultado la inspección de 43 alimentadores al año.

Finalmente, el análisis de factibilidad económica-financiera de implementación del proyecto contempla la evaluación de inversión y utilidad neta esperada, para cada uno de los tres casos planteados, mediante el cálculo de los indicadores Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). La inversión inicial contempla la dotación material requerida por cada una de las cuadrillas que se propone incorporar al

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

patrimonio de la distribuidora (Tabla IV), empleando cotización y tipo de cambio vigentes a la fecha de elaboración del trabajo.

Tabla IV: Inversión inicial requerida para cada caso propuesto.

Cuadrillas	Unitaria	2	3	4
Inversión	Costo (USD)			
Vehículo de Trabajo	125.540	251.080	376.620	502.160
Herramientas	2.754	5.508	8.262	11.016
Vestimenta y EPI	1.766	3.532	5.298	7.064
Eq. de Comunicación	338	676	1.014	1.352
Equipos Informáticos	1.058	1.058	1.058	1.058
Mobiliario de Oficina	466	466	466	466
Total (USD)	131.922	262.320	392.718	523.116

El beneficio potencial del proyecto consiste en la facturación de la diferencia de Energía No Suministrada (ENS) sin y con la implementación de la propuesta. La ENS, anual está determinada por el indicador DEP, y la potencia media instalada del SMD. La proyección de indicadores DEP, sin la implementación de la propuesta es función del indicador DEP, en el Año 0 y su promedio de variación tendencial en el periodo 2012-2014. Por otra parte, la misma proyección con la implementación propuesta forma una curva de tipo exponencial decreciente, de acuerdo a la función de cumplimiento de metas de calidad. El ahorro potencial en ENS (kVAh), se obtiene posteriormente mediante la multiplicación de la diferencia entre los indicadores obtenidos, y la Potencia Media Instalada del sistema en el Año 0.

Si bien el cálculo de facturación bruta es función del ahorro potencial en términos de ENS, y la tarifa eléctrica, la determinación de los beneficios netos debe desconsiderar los gastos de explotación que requiere la implementación el proyecto. En este sentido, se propone efectuar dicho descuento aplicando el margen de utilidad de la distribuidora sobre la facturación bruta. El margen de utilidad se considera como la relación entre el resultado neto y el ingreso bruto de explotación de un ejercicio contable anual; el valor propuesto en este caso corresponde al promedio de los valores registrados entre los años 2011 y 2014, disponibles en el Estado de Cuentas de la ANDE, el cual es 16,10% [19].

Por último, el cálculo del VPN y del TIR, contempla como variables de entrada la inversión inicial y la utilidad neta esperada, sobre un horizonte de implementación de 10 años. La tasa de descuento considerada corresponde a la tasa de costo de capital de la ANDE, que actualmente es 8% [20]. Para el primer caso propuesto, incorporación de 2 cuadrillas, la evaluación financiera arroja como resultado un VPN, de USD 607.947 y un TIR, de 33,77%, valores que avalan la implementación del proyecto. Para el segundo caso propuesto, incorporación de 3 cuadrillas, la evaluación financiera arroja como resultado un VPN, de USD 540.387 y un TIR, de 25,56%, valores que avalan la implementación del proyecto. Para el tercer caso propuesto, incorporación de 4 cuadrillas de mantenimiento preventivo, la evaluación financiera arroja como resultado un VPN, de USD 483.989 y un TIR, de 21,01%, valores que avalan la implementación del proyecto.

5. CONCLUSIONES

Terminado este trabajo se puede concluir que se ha encarado la problemática de gestión de calidad del servicio técnico de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) en la ciudad de Asunción y el área metropolitana. El estudio ha incluido, como primera medida, la discriminación de los indicadores de continuidad Frecuencia de Interrupción Equivalente de Potencia Instalada (FEP) y Duración de Interrupción Equivalente de Potencia Instalada (DEP) anuales. A estos valores, el trabajo ha diseñado un plan de



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

mejoramiento de los niveles de continuidad debidos a causas propias, basado en el cumplimiento de metas de calidad en un plazo preestablecido

El trabajo ha propuesto la reducción de las interrupciones del suministro a través de la programación de tareas de mantenimiento preventivo de líneas de distribución aéreas. Se han estimado las expectativas de reducción de indicadores mediante la intervención de las líneas de distribución aéreas, considerando, además de la capacidad actual de la distribuidora, la eventual incorporación de cuadrillas exclusivas de mantenimiento preventivo. Finalmente, se incluye una evaluación de impacto económico y financiero, la cual permite verificar la factibilidad de implementación del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ABRADDEE. (2015, 01) A distribuicao de energia. Associacao Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - ABRADDEE. [Online]. Available: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/adistribuicao-de-energia>
- [2] G. Gaudino, “Mantenimiento de sistemas de distribución - Módulo 1,” Comisión de Integración Energética Regional - CIER, Tech. Rep., 2006.
- [3] G. Gaudino, “Mantenimiento de sistemas de distribución - Módulo 3,” Comisión de Integración Energética Regional - CIER, Tech. Rep., 2006.
- [4] CIER, “Manual de definición de indicadores de calidad de servicios de distribución,” Comisión de Integración Energética Regional - CIER, Tech. Rep., 2009.
- [5] Transmission, D. Committee et al., “Ieee guide for electric power distribution reliability indices,” IEEE Std 1366-2003, 2003.
- [6] E. Cabrera, “Manual de determinación de indicadores de continuidad FEP y DEP,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2011.
- [7] R. Martinez, “Resumen ejecutivo ejecutivo de operación,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2012.
- [8] R. Martinez, “Resumen ejecutivo ejecutivo de operación,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2013.
- [9] R. Martinez, “Resumen ejecutivo ejecutivo de operación,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2014.
- [10] C. Alonso, “Códigos de avería,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2014.
- [11] C. Guerra, “Informe anual de operación - Consumo de energía en EE.SS y SS.EE,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2014.
- [12] ANEEL. (2015, 01) Informacoes técnicas - Distribuicao de energia elétrica. Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=77>.
- [13] ANEEL, “Procedimentos de distribucao - Módulo 1 - Revicao 4,” Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Tech. Rep., 2012.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016**

-
- [14] ANEEL, “Procedimientos de distribucion - Módulo 8 - Revisao 7,” Agencia Nacional de Energia Eléctrica - ANEEL, Tech. Rep., 2012.
- [15] N. Bernardo, “Evolucao da gestao da qualidade de servico de energia eléctrica no Brasil,” Bachelor’s Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [16] L. Acosta, “Actividad reclamos,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2013.
- [17] L. Acosta, “Cronograma de mantenimiento preventivo,” Administración Nacional de Electricidad - ANDE, Tech. Rep., 2013.
- [18] ANDE. (2015, 04) Estados contables 2011-2014. Administración Nacional de Electricidad - ANDE. [Online]. Available: <http://www.ande.gov.py/contables.php?cat=3>
- [19] ANDE. (2015, 04) Memoria y balance 2013. Administraci´on Nacional de Electricidad - ANDE. [Online]. Available: <http://www.ande.gov.py/contables.php?cat=5>