

ARTÍCULO ORIGINAL

USO DE TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO TRABAJOS CON TENSIÓN PARA LA MEJORA DE INDICADORES SAIDI Y SAIFI

USE OF MAINTENANCE TECHNIQUES USING LIVE LINE WORKING MAINTENANCE FOR THE IMPROVEMENT OF SAIDI AND SAIFI INDICATORS

Erick Hans Araca Berrios¹

¹Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado - Puno Av. Floral 1153.

RESUMEN

Las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión son aplicadas por las empresas líderes del sector eléctrico. Actualmente la empresa Electro Puno S.A.A. no tiene dentro de sus metodologías de trabajo el uso de dichas técnicas. Por lo que, el objetivo de la investigación fue analizar el uso de técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en las labores de mantenimiento tradicionales que se realizan en la empresa Electro Puno S.A.A., para la mejora de los indicadores SAIDI y SAIFI. Para ello, el enfoque de la investigación fue aplicada y pre experimental, pues se analizó el comportamiento de los AMT de la empresa Electro Puno S.A.A., antes y después de aplicar el mantenimiento empleando las técnicas de trabajos con tensión. La muestra fue las interrupciones en los AMT de la SET Juliaca, las cuales se disgregaron por interrupciones programadas para mantenimientos preventivos y por interrupciones por emergencia para mantenimientos correctivos, esto correspondiente al historial de interrupciones del año 2018. Los resultados demostraron que, con el uso de técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión, los indicadores SAIDI y SAIFI se reducen en 12,21 % y 4,36 % respectivamente. En conclusión, con el uso de técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión, la empresa Electro Puno S.A.A mejoraría los indicadores SAIDI y SAIFI, además de alcanzar menores costos de operación y mantenimiento en el mediano y largo plazo; menores compensaciones, mayores ventas de energía y mayores utilidades en el corto plazo y la mejora de la imagen institucional de la empresa.

Palabras clave: Calidad de suministro eléctrico, compensaciones, confiabilidad, interrupciones, SAIDI, SAIFI, trabajos de mantenimiento con tensión.

ABSTRACT

Maintenance techniques using live line working maintenance are applied by leading companies in the electrical sector. Currently, the Puno Electro company S.A.A. does not include the use of these techniques within its work methods. Therefore, the objective of the research was to analyze the use of maintenance techniques using work with tension in the traditional maintenance tasks that are carried out in the Puno Electro company S.A.A., in order to improve the SAIDI and SAIFI indicators. For this purpose, the research approach was applied and pre-experimental, since the behavior of the AMT of Puno Electro company S.A.A. was analyzed, before and after applying maintenance using live line working maintenance techniques. The sample was the interruptions in the AMTs of SET Juliaca, which were broken down by scheduled interruptions for preventive maintenance and by emergency interruptions for corrective maintenance, this corresponding to the history of interruptions in 2018. The results showed that, with the use of maintenance techniques employing live line working maintenance, the SAIDI and SAIFI indicators are reduced by 12,21 % and 4,36 % respectively. In conclusion, with the use of maintenance techniques employing live line working maintenance, Puno Electro company S.A.A. would improve the SAIDI and SAIFI indicators, in addition to achieving lower operating and maintenance costs in the medium and long term; lower compensation, higher energy sales and higher profits in the short term and the improvement of the company's institutional image.

Keywords: Compensation, Interruptions, live line working maintenance, power supply quality, reliability, SAIDI, SAIFI.

*Autor de correspondencia: earaca@cip.org.pe
ORCID: 0000-0002-5988-7182

Downloadable from: <http://revistas.unap.edu.pe/epg>
Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



Revista de Investigaciones - by Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano is licensed under a Creative Commons — Atribución 4.0 Internacional — CC BY 4.0

INTRODUCCIÓN

Las actividades de mantenimiento en los sistemas eléctricos son esenciales para que estos tengan un óptimo y continuo funcionamiento, logrando así el objetivo que se espera obtener de cada uno de los elementos que conforman el sistema eléctrico (Echeverry & Lozano 2017). Además utilizar las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión (TcT) en los activos físicos (Borges & Cantarino 2011), también es una herramienta provechosa para la gestión de los activos de las redes de distribución de energía eléctrica (Padilla 2019). Es posible mejorar de los indicadores de calidad de suministro SAIDI y SAIFI utilizando las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en las redes de distribución de media tensión de la empresa Electro Puno S.A.A. (Toro *et al.* 2011). Con esto se logra una mejor gestión de los activos físicos de la empresa distribuidora, lo que consolida la performance de la empresa a los ojos del cliente final (Rojas *et al.* 2016). Se demuestra, a través de un análisis costo beneficio, lo favorable que sería para la empresa Electro Puno S.A.A (Brown 2009). incluir dentro de su política de mantenimiento el uso de trabajos con tensión para la gestión de mantenimiento de sus activos y la mejora de su imagen empresarial (Padilla 2012).

El avance de las técnicas de mantenimiento ha sido siempre, en relación con la evolución tecnológica (Echeverry & Lozano 2017); lo que ha permitido incrementar significativamente la eficiencia de los activos tecnológicos de las empresas eléctricas (Anteneh 2019). Para que la empresa Electro Puno S.A.A. este a la vanguardia de los avances en las técnicas de mantenimiento (Gallego *et al.* 2016); es necesario que se implemente las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión como parte de su mejora continua en busca de la excelencia empresarial (Martins & Borges 2011). Sin embargo para la mejora de los indicadores de calidad de suministro SAIDI y SAIFI (González 2012); es necesario realizar una mejora en la calidad de suministro en los sistemas de distribución eléctrica (Heydt 2010), realizando una evaluación a los elementos que componen tales sistemas (Iza 2004), utilizando métodos estadísticos para tales análisis (Miroslaw 2017). La mejora de la confiabilidad o de la calidad de suministro en el sistema de

redes aéreas de media tensión debe situarse como objetivo principal de las empresas distribuidoras del Perú (McDermott & Dugan 2002). Este artículo presenta el uso de las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión o en caliente para la mejora de las tasas de corte (López *et al.* 2016), lo que refleja una mejor confiabilidad de la red de media tensión, esto con base en un análisis técnico-económico (Miroslaw 2010).

La compensación es el monto que el suministrador paga a su cliente como consecuencia de la transgresión de la calidad del producto (Lovrencic *et al.* 2019); además del suministro de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y su base metodológica, aprobada por Resolución de Consejo Directivo OSINERGMIN N° 616-2008-OS/CD (Martini 2017). Sin embargo el Ministerio de Energía y Minas, a traes de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (Martins & Borges 2011), ha establecido que los suministradores deben compensar a sus clientes por aquellos suministros en los que se hay comprobado que la calidad del servicio no satisface los estándares fijados en la norma (Navarro *et al.* 1998). Además según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, las compensaciones se deducen semestralmente en base a la energía no suministrada (ENS) (Padilla 2019), el Número de interrupciones por cliente por semestre (N) y la Duración total acumulada de interrupciones (D) (Padilla 2012). Sin embargo es de indicar que para el caso específico de un cliente final conectado al mismo nivel de tensión del respectivo punto de compra-venta de energía de su suministrador (utynkowskii *et al.* 2016), si las tolerancias en los indicadores de calidad de suministro establecidos en la norma para estos clientes son superadas finalizado el semestre correspondiente (Ramírez 2003), el suministrador que tiene vínculo contractual con este cliente final efectúa la compensación total conforme a lo establecido en el numeral 6.1.8 (Norma Técnica de Calidad de Los Servicios Eléctricos 1997).

De la misma forma, cada suministrador responsable de interrupciones que tiene vínculo contractual en el punto de compra-venta

correspondiente con el suministrador del cliente final o distribuidor (Ramírez 2004), resarce a este suministrador o distribuidor por las compensaciones efectuadas a su cliente final y por aquellas (Ras 1994), según sea el caso, que como distribuidor le corresponde recibir para ser transferidas a sus demás clientes finales conectados en niveles de tensión inferior al punto de compraventa correspondiente (Retamozo 2018), de manera proporcional al número de interrupciones y duración de las mismas, con la que ha contribuido a transgredir las tolerancias de los indicadores para el nivel de tensión de este punto de compra-venta (Rojas *et al.* 2016); (Roos 2005); (Sekhar *et al.* 2016); (Torres 2021). En ingeniería eléctrica, el trabajo con línea viva, también conocido como mantenimiento en caliente (Vargas 2018), es el

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El lugar objeto de estudio de la presente investigación se ha realizado el área de concesión de la Empresa Electro Puno S.A.A, ubicada en la región Puno. De acuerdo a la ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento, la concesión otorgada a Electro Puno S.A.A. se efectuó mediante Resolución Suprema N° 106-2000-EM de fecha 07 de diciembre del 2000, la misma que ha sido actualizada mediante Resolución Suprema N° 051-2006-EM y que está distribuida en diez sistemas eléctricos (urbano – rural), además se cuenta también con seis sistemas eléctricos rurales (SER).

La región Puno está ubicada en el sudoeste del Perú, en la meseta del Collao. Se ubica en las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 13°00'06"00" y 17°17'30"
 Latitud Oeste : 71°06'57" y 68°48'46"
 Altitud media : 3800 msnm

Descripción de métodos

Población y muestra

La población de estudio para la investigación fue el historial de interrupciones del año 2018, correspondiente a los sistemas eléctricos de distribución en media tensión de la empresa Electro Puno S.A.A; y la toma muestral fueron las interrupciones correspondientes a los

mantenimiento de equipos eléctricos, que operan a medio a alto voltaje, mientras el equipo está energizado (Wang 2018). En la industria de distribución de energía eléctrica se utilizan técnicas de mantenimiento con tensión o línea viva para evitar la interrupción y los altos costos económicos de tener que cortar la energía a los clientes para realizar tareas de mantenimiento (Martini 2017).

El objetivo del presente manuscrito fue el de realizar el análisis del uso de las técnicas de mantenimiento con tensión o en caliente a las redes aéreas de media tensión de la SET Juliaca, pertenecientes a la empresa distribuidora Electro Puno S.A.A., esto con el fin de mejorar los indicadores SAIDI y SAIFI, considerando los parámetros numéricos utilizados en el Perú.

sistemas eléctricos de distribución en media tensión de la Subestación de Transmisión Juliaca.

Método y tipo de investigación

El método de investigación que se utilizó es aplicado, pre experimental, pues se analizó el comportamiento de los alimentadores en media tensión de la empresa Electro Puno S.A.A., antes y después de aplicar el mantenimiento en la red de distribución primaria con técnicas de trabajos con tensión.

El tipo de la investigación es exploratoria, mediante la cual se recopiló información y datos sobre los trabajos realizados en línea viva, lo que permitió documentar los factores de riesgo, condiciones de trabajo y tipos de mantenimiento. También se empleó la investigación descriptiva para describir las condiciones de control que se realizan durante las actividades de mantenimiento en línea viva; y se estudió la actual política de mantenimiento de la empresa Electro Puno S.A.A. a nivel de los sistemas de media tensión, esto con el fin de demostrar la necesidad de una mejora en los indicadores de SAIDI y SAIFI aplicando técnicas de mantenimiento de trabajos con tensión en línea viva.

Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptivo y explicativo con un profundo análisis, en la cual se examinó la actual política de mantenimiento que tiene la empresa Electro Puno S.A.A. a nivel de los sistemas de media tensión a fin de

demostrar la necesidad de una mejora en los indicadores de SAIDI y SAIFI aplicando técnicas de mantenimiento de trabajos con tensión.

Variable independiente: Técnicas de mantenimiento con trabajos con tensión.

Variable dependiente: Calidad de suministro eléctrico.

Unidades de información

Como data y para el análisis estadístico se empleó la información del historial de interrupciones de todos los sistemas eléctricos del año 2018 de la empresa Electro Puno S.A.A., también la información de los trabajos realizados en las interrupciones de las redes de media tensión de Electro Puno S.A.A. En la tabla 19 se muestra el total de interrupciones del año en mención.

Evaluación económica (costo – beneficio)

En la presente investigación se evaluó el costo de implementación de una cuadrilla en dos escenarios: 1) costo propio y 2) costo por licitación de un tercero. Los valores de los costos de los mantenimientos especializados en la red energizada que se indican en la presente tesis son aproximados, pues se basan en la experiencia de otras empresas distribuidoras

que ya aplican las técnicas de trabajo en caliente con mucho éxito durante los últimos años.

La evaluación económica consiste en la comparación de los costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo, penalidades y compensaciones por calidad de suministro asumidos por la empresa Electro Puno S.A.A. durante el año 2018 versus; los costos asociados que involucra la implementación de una cuadrilla especializada en técnicas de trabajos con tensión o en caliente, si hubiera realizado el mantenimiento preventivo y correctivo de Electro Puno S.A.A. del año 2018, todo en los alimentadores en media tensión de la subestación de transmisión Juliaca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Plan de mantenimiento de trabajos con tensión en la empresa Electro Puno S.A.A.

A continuación se muestra el plan de mantenimiento que tiene un alcance anual para el periodo 2018, donde se hace la diferenciación con verde y rojo los mantenimientos programados (preventivos) y los mantenimientos no programados (correctivos) respectivamente (Figura 1).

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EMPLEANDO TRABAJOS CON TENSIÓN																
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS, PREVENTIVOS Y CONEXIONES DE NUEVAS REDES EN MEDIA TENSIÓN																
Concesionaria: Eléctro Puno S.A.A.		Sistemas Eléctricos: SE0025 Juliaca y SE0238 Juliaca Rural		Región: Puno		Provincia: San Román, Lampa, Azángaro y Puno		Fecha: Enero 2018 - Diciembre 2018								
Unidad: Gerencia de Operaciones		Sectores Típicos: 2 y 6		Niveles de Tensión: 10.0 kV, 13.2 kV y 22.9 kV												
Alimentadores: 5004, 5005, 5006, 5007, 5008, 5009, 5010, 5010 Y 5011		SET: SET Juliaca (CODO: REP 50)														
CÓDIGO	ACTIVIDADES	DURACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS (horas:minutos)	DURACIÓN TRABAJOS CON TENSIÓN (horas:minutos)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
EA01	Revisión y reajuste de conexiones	06:07	20:00	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA02	Conexión o desconexión de nodo con retiro y reubicación de línea	00:54	05:50	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA03	Reubicación y cambio de transformador	13:00	25:06	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA04	Apoyo y/o la instalación de un poste de paso de red	36:18	85:18	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA05	Cambio y/o instalación y/o retiro de sectores	07:05	08:30	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA06	Instalación o cambio de aisladores tipo PIN	8:47	12:27	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA07	Cambio y/o instalación y/o retiro de pararrayos	22:42	62:12	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA08	Retemplado de línea	03:24	16:00	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA09	Poda de árboles	-	-	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA10	Conexión de nuevas redes aéreas	15:03	55:16	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA11	Instalación de equipos de protección con estructura adaptada	00:24	05:56	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA12	Instalación de crucetas o ménsulas en estructura de paso	03:12	12:38	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
EA13	Cambio de fusibles	06:05	16:00	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
SUB-TOTAL - DURACIÓN (h:min)		123:05	300:11	LEYENDA												
TOTAL - DURACIÓN (h:min)		423:16		Cortes no programados (mantenimientos correctivos)												
Distancia Recorrida (Km)		2743.5		Cortes programados (mantenimientos preventivos o conexiones de nuevas redes en media tensión)												
X : Cantidad de trabajos realizados																

Figura 1. Programa de mantenimiento empleando trabajos con tensión.

El plan de mantenimiento está en función de los mantenimientos preventivos, correctivos y las conexiones de nuevas redes de media tensión realizados en la empresa Electro Puno S.A.A.

durante el año 2018, así también, se tomaron en cuenta los tiempos de desplazamiento de la cuadrilla y los tiempos de ejecución de los trabajos aplicando técnicas de mantenimiento

con tensión (Li *et al.* 2020). Además durante el año 2018, la empresa Electro Puno S.A.A. requirió para sus mantenimientos preventivos y las conexiones para las ampliaciones de nuevas redes de media tensión la programación de cortes (Rojas *et al.* 2016); para los mantenimientos correctivos requirió se realicen cortes no programados o cortes de emergencia, lo que en ambos casos se tuvo una incidencia negativa en los indicadores de calidad de suministro SAIDI y SAIFI en la empresa Electro Puno S.A.A. durante el año 2018 (Roos 2005). Finalmente las actividades que se consideraron para la programación de los **Indicadores SAIDI, SAIFI, energía no suministrada y compensaciones**

La incidencia en los indicadores SAIDI y SAIFI de la empresa Electro Puno S.A.A. al aplicar técnicas de mantenimiento con tensión solo en los alimentadores en media tensión de la SET

trabajos aplicando técnicas de mantenimiento con tensión están en función de los análisis de Pareto de las actividades de acuerdo a la frecuencia de interrupciones y al costo por precios unitarios (Sekhar *et al.* 2016). Se determinó aplicar las técnicas de mantenimiento para trabajos con tensión a 12 de 13 actividades, excluyendo a la actividad con código EA09 (Torres 2021), esto debido al poco impacto que tiene en los indicadores de calidad de suministro y por lo poco rentable de realizar para la cuadrilla de mantenimiento especializado (Vargas 2018).

Juliaca fueron los siguientes: SAIFI igual a 12,72 fallas/usuario-año y SAIDI igual a 13,73 horas/usuario-año, resultando una disminución del 4,36 % y 12,21 %, respectivamente, en relación a los valores declarados por la empresa Electro Puno S.A.A. en el año 2018 (Tabla 1).

Tabla 1. Comparativo SAIFI y SAIDI 2018 de Electro Puno S.A.A.

Empresa Distribuidora	SAIFI 2018 declarado	SAIFI 2018 con TcT	Incidencia SAIFI	SAIDI 2018 declarado	SAIDI 2018 con TcT	Incidencia SAIDI
Electro Puno S.A.A.	13,30	12,72	-4,36 %	15,64	13,73	-12,21 %

Las actividades de mantenimiento en los sistemas eléctricos son esenciales para que estos tengan un óptimo y continuo funcionamiento, logrando así el objetivo que se espera obtener de cada uno de los elementos que conforman el sistema eléctrico (Echeverry & Lozano 2017). Además utilizar las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión (TcT) en los activos físicos (Borges & Cantarino 2011), también es una herramienta provechosa para la gestión de los activos de las redes de distribución de energía eléctrica (Padilla 2019). Es posible mejorar de los indicadores de calidad de suministro SAIDI y SAIFI utilizando las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en las redes de distribución de media tensión de la empresa Electro Puno S.A.A. (Toro *et al.* 2011). Con esto se logra una mejor gestión de los activos físicos de la

empresa distribuidora, lo que consolida la performance de la empresa a los ojos del cliente final (Rojas *et al.* 2016).

A continuación se aprecia la tendencia del indicador SAIDI de la empresa Electro Puno S.A.A. en el año 2018. La meta empresarial para el indicador SAIDI fue de 15,60 horas/usuario-año, sin embargo, al término del año 2018, se obtuvo un valor SAIDI de 15,64 fallas/usuario-año, lo que significó que se tuvo un valor de un 0,26 % por encima de la meta empresarial. Con la aplicación de técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en los alimentadores de media tensión de la SET Juliaca se obtuvo un valor del indicador SAIDI, para toda la empresa Electro Puno S.A.A., de 13,73 horas/usuario-año que está por debajo de la meta en 11,99 % (Figura 2).

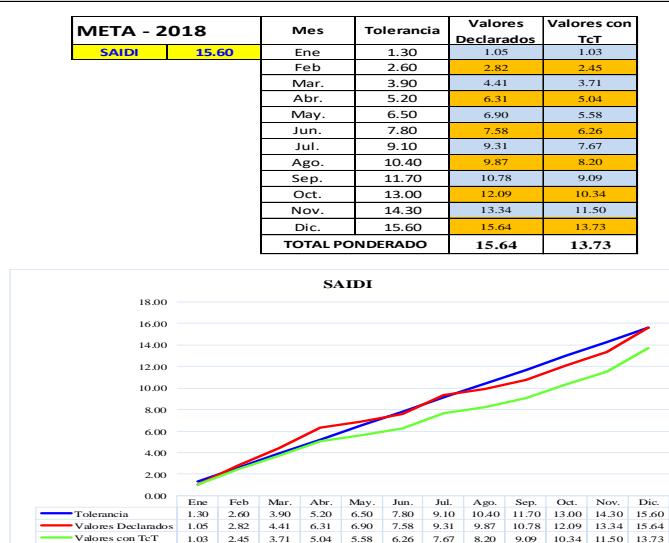


Figura 2. Comparativo SAIDI 2018.

Para que la empresa Electro Puno S.A.A. este a la vanguardia de los avances en las técnicas de mantenimiento (Gallego *et al.* 2016); es necesario que se implemente las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión como parte de su mejora continua en busca de la excelencia empresarial (Martins & Borges 2011). Sin embargo para la mejora de los indicadores de calidad de suministro SAIDI y SAIFI (González 2012); es necesario realizar una mejora en la calidad de suministro en los

sistemas de distribución eléctrica (Heydt 2010), realizando una evaluación a los elementos que componen tales sistemas (Iza 2004), utilizando métodos estadísticos para tales análisis (Mirosiaw 2017). La mejora de la confiabilidad o de la calidad de suministro en el sistema de redes aéreas de media tensión debe situarse como objetivo principal de las empresas distribuidoras del Perú (McDermott & Dugan 2002).

A continuación se muestra una reducción del 6,30% de la ENS en el Sistema Eléctrico Juliaca que es 126,34 kWh. Para el Sistema Eléctrico Juliaca Rural se tiene una reducción del 5,85 % de la ENS que es 233,10 kWh (Tabla 2).

Energía teórica no suministrada (ENS)

Tabla 2. Comparativo ENS de los Sistemas Eléctricos Juliaca y Juliaca Rural

Sistemas Eléctricos	Energía Teórica no Suministrada (ENS)				Comparativo		
	2018-I declarado (kWh)	2018-I con TcT (kWh)	2018-II declarado (kWh)	2018-II con TcT (kWh)	Total declarado (kWh)	Total con TcT (kWh)	Comparativo TOTAL
SE0025 Juliaca	461,83	395,72	1542,48	1482,25	2004,31	1877,97	-6,30 %
SE0238 Juliaca Rural	2195,33	2058,98	1786,43	1689,68	3981,76	3748,66	-5,85 %

La energía teórica no suministrada (ENS) es consecuencia de las horas de interrupciones registradas en los dos semestres del año 2018 (Roos 2005). La ENS es energía estimada que no se vendió al usuario final durante la duración de las interrupciones, lo que da como resultado una pérdida económica a la empresa distribuidora Electro Puno S.A.A. (LaCommare & Eto 2006). Con la aplicación de técnicas de

mantenimiento empleando trabajos con tensión se hubieran evitado las interrupciones programadas o de emergencia (Sekhar *et al.* 2016), lo que hubiera dado como resultado una ininterrumpida venta de energía eléctrica, captando más ingresos para la empresa Electro Puno S.A.A. (Rojas *et al.* 2016).

Compensaciones

A continuación se muestra una disminución del 7,02 % y 9,07 % en las compensaciones por mala calidad de suministro durante el año 2018 en los Sistemas Eléctricos Juliaca y Juliaca Rural respectivamente. Con la aplicación de

Tabla 3. Comparativo de las compensaciones de los Sistemas Eléctricos Juliaca y Juliaca Rural

Sistemas Eléctricos	Compensaciones NTCSE por Semestre					Comparativo	
	2018-I declarado (S/)	2018-I con TcT (S/)	2018-II declarado (S/)	2018-II con TcT (S/)	Total declarado (S/)	Total con TcT (S/)	Comparativo TOTAL
SE0025 Juliaca	5 627,48	4 308,49	68 324,97	64 452,16	73 952,45	68 760,65	-7,02 %
SE0238 Juliaca Rural	169 474,29	155 940,65	115 303,48	103 009,4	284 777,77	258 950,1	-9,07 %

De la misma forma, cada suministrador responsable de interrupciones que tiene vínculo contractual en el punto de compra-venta correspondiente con el suministrador del cliente final o distribuidor (Ramírez 2004), resarce a este suministrador o distribuidor por las compensaciones efectuadas a su cliente final y por aquellas (Ras 1994), según sea el caso, que como distribuidor le corresponde recibir para ser transferidas a sus demás clientes finales

Evaluación económica

A continuación, se presenta la evaluación económica, con el Escenario A, de los costos a asumir en el año 2018 por Electro Puno S.A.A. Para los mantenimientos programados y de emergencia el costo asumido por Electro Puno

técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en el Sistema Eléctrico Juliaca se hubiera tenido un ahorro de S/ 5 191,80 y en el SE Juliaca Rural se hubiera tenido un ahorro de S/ 25 827,70 que en conjunto suman S/ 31 019,50 (Tabla 3).

conectaños en niveles de tensión inferior al punto de compraventa correspondiente (Retamozo 2018), de manera proporcional al número de interrupciones y duración de las mismas, con la que ha contribuido a transgredir las tolerancias de los indicadores para el nivel de tensión de este punto de compra-venta (Rojas *et al.* 2016); (Roos 2005); (Sekhar *et al.* 2016); (Torres 2021).

S.A.A. fue de S/ 904 182,27, mientras que el costo de aplicar el mantenimiento empleando trabajos con tensión que es de S/ 790 894,52, obteniendo un ahorro de S/. 113 287,71 (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación económica en el escenario A

Evaluación Económica de los Costos Reales vs los Costos Asociados al Aplicar TcT Escenario A			
Mantenimiento tradicional	Costo (S/)	Mantenimiento con TcT	Costo (S/)
Costo total de mantenimiento	519 691,12	Costo total de mantenimiento con cuadrilla por terceros	463 183,85
Compensaciones por mala calidad de suministro	358 730,22	Compensaciones por mala calidad de suministro	327 710,67
Energía no vendida durante cortes programados o de emergencia.	25 760,93	Energía no vendida durante cortes programados o de emergencia.	0,00
Costo Total	904 182,27	Costo Total	790 894,52

La mejora de la confiabilidad o de la calidad de suministro en el sistema de redes aéreas de media tensión debe situarse como objetivo principal de las empresas distribuidoras del Perú (McDermott & Dugan 2002). Este artículo

presenta el uso de las técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión o en caliente para la mejora de las tasas de corte (López *et al.* 2016), lo que refleja una mejor confiabilidad de

la red de media tensión, esto con base en un análisis técnico-económico (Miroslaw 2010).

A continuación se presenta la evaluación económica, con el Escenario B, de los costos a asumir en el año 2018 por Electro Puno S.A.A. Para los mantenimientos programados y de emergencia el costo asumido por la

distribuidora fue de S/ 904 182,27, mientras que el costo de aplicar el mantenimiento empleando trabajos con tensión que es de S/ 1 239 886,96. El costo de aplicar trabajos con tensión en el 2018 con una cuadrilla propia excede en S/ 335 704,69 al monto realizado con el mantenimiento tradicional que es con corte de suministro eléctrico (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación económica en el escenario B

Evaluación Económica de los Costos Reales vs los Costos Asociados al Aplicar TcT Escenario B			
Mantenimiento tradicional	Costo (S/)	Mantenimiento con TcT	Costo (S/)
Costo total de mantenimiento	519 691,12	Costo total de mantenimiento con cuadrilla propia	912 176,29
Compensaciones por mala calidad de suministro	358 730,22	Compensaciones por mala calidad de suministro	327 710,67
Energía no vendida durante cortes programados o de emergencia.	25 760,93	Energía no vendida durante cortes programados o de emergencia.	0.00
Costo Total	904 182,27	Costo Total	1 239 886,96

La compensación es el monto que el suministrador paga a su cliente como consecuencia de la transgresión de la calidad del producto (Lovrencic *et al.* 2019); además del suministro de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y su base metodológica, aprobada por Resolución de Consejo Directivo OSINERGMIN N° 616-2008-OS/CD (Martini 2017). Sin embargo el Ministerio de Energía y Minas, a traés de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (Martins & Borges

2011), ha establecido que los suministradores deben compensar a sus clientes por aquellos suministros en los que se hay comprobado que la calidad del servicio no satisface los estándares fijados en la norma (Navarro *et al.* 1998). Además según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, las compensaciones se deducen semestralmente en base a la energía no suministrada (ENS) (Padilla 2019), el Número de interrupciones por cliente por semestre (N) y la Duración total acumulada de interrupciones (D) (Padilla 2012).

CONCLUSIONES

El análisis económico en el escenario A da un costo para el uso de técnicas de trabajos con tensión de S/ 790 984,52, dando una reducción en costos de S/ 113 287,75 frente a los S/ 904 182,27 que gasto la empresa Electro Puno en realizar los mantenimientos con corte de suministro eléctrico. Se concluye que el escenario A es un escenario económicamente rentable en el corto plazo. Además el análisis económico en el escenario B da un costo para el uso de técnicas nuevas de trabajos en tensión de S/ 1 239 886,96, dando un aumento en costos de S/ 335 704,69 frente a los S/ 904 182,27 que gasto la empresa Electro Puno S.A.A. en realizar los mantenimientos con corte de suministro eléctrico. Se concluye que el escenario B es un escenario económicamente no rentable en el corto plazo, sin embargo, resulta económicamente rentable para el mediano y largo plazo, ya que a partir del segundo año se

tendría un costo aproximado de S/ 637 893,83 al no asumir los costos del primer año como son mobiliario, vehículos, material de oficina, las herramientas y equipos de protección personal, haciéndose autosostenida y rentable para el mediano y largo plazo. Finalmente el beneficio del uso de técnicas de mantenimiento empleando trabajos con tensión en la empresa Electro Puno S.A.A. son los menores costos de operación y mantenimiento, menores compensaciones, mayores ventas de energía, mayores utilidades y la mejora de la imagen institucional de la empresa.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano y al ing. Darwin Celin Padilla Gutiérrez.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor de iniciales EHAB no tiene conflicto de intereses de ninguna índole.

REFERENCIAS

- Al-Muhaini, M, and G T Heydt. 2013. "A Novel Method for Evaluating Future Power Distribution System Reliability." *IEEE Transactions on Power Systems* 28 (3): 3018–27.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2230195>
- Anteneh, Degarege. 2019. "Reliability Enhancement of Distribution Substation by Using Network Reconfiguration a Case Study at Debre Berhan Distribution Substation." *International Journal of Economy, Energy and Environment* 4 (2): 33.
<https://doi.org/10.11648/j.ijeee.20190402.12>
- Borges, Carmen L T, and Eduardo Cantarino. 2011. "Microgrids Reliability Evaluation with Renewable Distributed Generation and Storage Systems." *IFAC Proceedings Volumes* 44 (1): 11695–700.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01090>
- Cassula, A M, A M Leite Da Silva, L A F Manso, and R Billinton. 2003. "Avaliação Da Confiabilidade Em Sistemas de Distribuição Considerando Falhas de Geração e Transmissão." *Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática [Online]* 14: 262–71.
<https://www.scielo.br/j/ca/a/vt3QZ9QRPgqvzRMCBJDwDnk/?format=pdf&lang=pt>
- D T Nel, J Haarhoff. 2011. "Bulk Water Distribution Power Supply Failures." *South African Institution of Civil Engineering* 53: 55–60.
http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192011000100007
- Echeverry Herrera, Jorge Alberto, and Carlos Arturo Lozano Moncada. 2017. "New Methodology to Diagnose Reliability of a Single Distribution Circuit in Colombia." *DYNA* 84 (201): 74–81.
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v84n201/0012-7353-dyna-84-201-00074.pdf>
- Electro Puno S.A.A. 2018. "Memoria Anual 2018," March 2018.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Funan, Frederikus, and Wayan Sutama. 2020. "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI Dan SAIFI Pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu." Vol. 3.
<https://journal.undiknas.ac.id/index.php/teknik/article/view/2888/878>
- Gallego, Juan, Oscar Danilo Montoya, Ricardo Hincapié, and Mauricio Echeverri. 2016. "Optimal Location of Reclosers and Fuses in Distribution Systems." *UTP Colombia*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v13n2/v13n2a02.pdf>
- Heydt, G T, and T J Graf. 2010. "Distribution System Reliability Evaluation Using Enhanced Samples in a Monte Carlo Approach." *IEEE Transactions on Power Systems* 25 (4): 2006–8.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2045929>
- Izar, Juan Manuel. 2004. "Diagrama de Pareto Statistics View Project Project Management View Project."
<https://www.researchgate.net/publication/303876853>
- Kornatka, Miroslaw. 2017. "Distribution of SAIDI and SAIFI Indices and the Saturation of the MV Network with Remotely Controlled Switches." *Proceedings of the 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2017*, 0–3.
<https://doi.org/10.1109/EPE.2017.7967243>
- Kornatka, Miroslaw. 2010. "Some Methods of Improving Reliability Medium Voltage Overhead Lines." *Rynek Energii*, February, 50–56.
https://www.researchgate.net/publication/295695030_SOME_METHODS_OF_IMPROVING_RELIABILITY_MEDIUM_VOLTAGE_OVERHEAD_LINES
- Kruithof, M, J Hodemaekers, and R van Dijk. 2005. "Quantitative Risk Assessment; A Key to Cost-Effective SAIFI and SAIDI Reduction." In *CIRED 2005 - 18th*

- International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 1–5.* <https://doi.org/10.1049/cp:20051296>
- LaCommare, Kristina Hamachi, and Joseph H Eto. 2006. “Cost of Power Interruptions to Electricity Consumers in the United States (U.S.),” February, 33. <https://emp.lbl.gov/publications/cost-power-interruptions-electricity>
- Lázaro García, José Luis. 2017. “Estimación Del Desplazamiento Mediante La Selección de Características En Forma Automática.” Santiago de Querétaro: Posgrado Interinstitucional Ciencia y Tecnología. <https://cidesi.repositoryinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/322/1/M-JLLG-2017.pdf>
- Li, Xueliang, Donglei Sun, Zhixin Wang, Hao Xu, and Mingqiang Wang. 2020. “Transmission Network Planning Considering Line Maintenance Plan with New Energy Resources Integration.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 768 (6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/6/062015>
- López, Juan Camilo, Marina Lavorato, and Marcos J. Rider. 2016. “Optimal Reconfiguration of Electrical Distribution Systems Considering Reliability Indices Improvement.” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 78: 837–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.12.023>
- Mamani Quispe, Julio Cesar. 2017. “Analysis of the Application and Compliance with Institutional Strategies of Electro Puno S.A.A. Puno-Perú, 2016.” *Revista EPG UNA Puno* 06 (1): 80–118. <http://www.revistaepgunapuno.org/index.php/SECONOMICO/article/viewFile/160/91>
- Martins, V F, and C L T Borges. 2011. “Active Distribution Network Integrated Planning Incorporating Distributed Generation and Load Response Uncertainties.” *IEEE Transactions on Power Systems* 26 (4): 2164–72.
- <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2122347>
- McDermott, T E, and R C Dugan. 2002. “Distributed Generation Impact on Reliability and Power Quality Indices.” In *2002 Rural Electric Power Conference. Papers Presented at the 46th Annual Conference (Cat. No. 02CH37360)*, D3-1. <https://doi.org/10.1109/REPCON.2002.1002301>
- Moreira Pessanha, José Francisco, Reinaldo Castro Souza, and Luiz da Costa Laurencel. 2007. “Um Modelo de Análise Envoltória de Dados Para o Estabelecimento de Metas de Continuidade Do Fornecimento de Energia Elétrica.” *Pesquisa Operacional* 27 (1): 51–83. <https://doi.org/10.1590/s0101-74382007000100004>
- OSINERG. 2004. *Resolución de Consejo Directivo OSINERG N° 074-2004-OS/CD.* OSINERG. Perú. <https://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/Publico/OSINERG-074-2004-OS-CD.pdf>
- Padilla, Darwin. 2019. *Los Trabajos Con Tensión En El Perú.* Edited by IIISE. Primera Ed. Lima: YoPúblico. <https://es.scribd.com/book/428097283/Los-trabajos-con-tension-en-el-Peru>
- Putynkowski, Grzegorz, Krzysztof Woźny, Paweł Balawender, Jacek Kozyra, Aldona Kuśmińska-Fijałkowska, Edmund Ciesielka, and Zbigniew Łukasik. 2016. “A New Model for the Regulation of Distribution System Operators with Quality Elements That Includes the SAIDI/SAIFI/CRP/CPD Indices.” *Electrical Power Quality and Utilisation, Journal* XIX (January). https://www.researchgate.net/publication/309490870_A_New_Model_for_the_Regulation_of_Distribution_System_Operators_with_Quality_Elements_that_Includes_the_SAIDISAIFICRPCPD_Indices
- Rojas, Luis, Jesús López, and Nicolás Muñoz. 2016. “Asignación Óptima de Presupuesto Para Mejoramiento de La Calidad Del Servicio En Sistemas de Distribución Usando Algoritmo Genético No-

Dominado II (NSGA-II) y Un Algoritmo Memético.” *Información Tecnológica* 27 (1): 115–26.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100013>

Sekhar, P C, R A Deshpande, and V Sankar. 2016. “Evaluation and Improvement of Reliability Indices of Electrical Power Distribution System.” In *2016 National Power Systems Conference (NPSC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/NPSC.2016.7858838>

Toro Giraldo, Carolina, Ricardo Hincapié Isaza, and Ramón A. Gallego R. 2011. “Ubicación Óptima de Elementos de Protección En Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica.” *Scientia et Technica* 48 (0122–1701): 13–18. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84922622003.pdf%0A>