

COMPORTAMIENTO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD EN BOLIVIA

1. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico boliviano ha evolucionado de manera planificada, con un enfoque en el desarrollo técnico y normativo que permite garantizar un suministro eléctrico seguro, confiable y eficiente. Este crecimiento ha buscado responder a la creciente demanda de energía en las distintas regiones del país, articulando la participación de empresas Distribuidoras de diversa naturaleza (estatales, privadas, mixtas y cooperativas) en un marco regulatorio común que promueve la calidad del servicio.

La Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear (AETN) es la entidad encargada de regular y supervisar el sector eléctrico boliviano; entre sus atribuciones, se encuentra el control del suministro de electricidad bajo criterios de seguridad, calidad, confiabilidad y continuidad, lo que asegura que los consumidores reciban un servicio que cumpla con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

El presente artículo muestra un análisis estadístico de los Índices de Continuidad de Suministro definidos en el Reglamento de Control de la Distribución de Electricidad (RCDE), evaluando su comportamiento histórico, tendencias y principales desviaciones respecto a los límites admisibles. Además, se plantean recomendaciones técnicas orientadas a reducir interrupciones y optimizar los tiempos de reposición de suministro, con el propósito de fortalecer la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico en Bolivia.

2. MARCO LEGAL

REGLAMENTO DE CALIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD (RCDE)

En el año 2002 entró en vigencia en Bolivia la regulación del Control de Calidad de Distribución de Energía Eléctrica, mediante el Decreto Supremo N° 26607 de 20 de abril de 2002, el cual aprueba el Reglamento de Calidad de Distribución de Electricidad (RCDE).

Este marco normativo tiene como objeto mejorar la calidad del servicio eléctrico para los consumidores, estableciendo un Sistema de Control de Calidad basado en Índices de Calidad de Suministro y sus respectivos límites admisibles.

El RCDE define los siguientes niveles de calidad, según la ubicación geográfica y cantidad de consumidores:

Nivel de Calidad 1: Aplicable a áreas urbanas que cuentan con más de 10.000 consumidores conectados en una misma ciudad o localidad.

Nivel de Calidad 2: Corresponde a áreas rurales que cuentan con menos de 10.000 consumidores conectados en una misma ciudad o localidad.

Además, la normativa contempla el Control de Calidad de tres (3) parámetros:

- Producto Técnico
- Servicio Técnico
- Servicio Comercial

CONTROL DE CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO - CONTINUIDAD DE SUMINISTRO

El Control de Calidad del Servicio Técnico es realizado por la Distribuidora y verificado por la AETN con el objeto de cumplir con los Límites admisibles establecidos en el RCDE relativo a frecuencia y tiempo de interrupciones.

Este control es fundamental tanto para la protección de los usuarios como para la eficiencia y confiabilidad del sistema eléctrico.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTINUIDAD DE SUMINISTRO

- Frecuencia Media de Interrupciones (F_S)

$$F_S = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i)}{C_s}$$

- Tiempo Total de Interrupciones (T_S)

$$T_S = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i) * t(i)}{C_s}$$

Dónde:

$C_a(i)$: Número de consumidores con suministro de Baja Tensión (BT) afectados por la interrupción (i).

C_s : Promedio aritmético del número de consumidores con suministro en BT al final de cada mes del periodo en evaluación del sistema de niveles de calidad en análisis.

- $t(i)$:** Tiempo de duración de la interrupción (i), en horas.
- (i) :** Interrupciones que varían de 1 a n .

Los índices globales F_s y T_s reflejan el promedio de frecuencia y la duración de las interrupciones del suministro eléctrico en el Sistema de Distribución de Baja Tensión y sus límites admisibles son:

Tabla 1. Límites Admisibles de los Índices T_s y F_s

Nivel de Calidad	Límite admisible	
	F_s (Número)	T_s (Horas)
1	7	6
2	14	12

Fuente: Reglamento de Calidad de Distribución de Electricidad (RCDE)

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN TÉCNICA

Para el presente análisis se empleó la información registrada en el anuario estadístico histórico 2024 de la AETN y los informes semestrales para el Control de Calidad de Distribución, remitidas por las empresas Distribuidoras a la Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear (AETN), en cumplimiento de la normativa vigente.

Con el propósito de garantizar resultados relevantes y comparables, se seleccionaron las tres (3) Distribuidoras más representativas en las diferentes zonas geográficas:

- La Distribuidora de Electricidad La Paz S.A. (DELAPAZ)** opera en el departamento de La Paz, principalmente en la región del altiplano, donde atiende cuatro (4) sistemas eléctricos: el Sistema Mayor, clasificado con Nivel de Calidad 1, y los Sistemas Aroma, Nuevo y Norte, con Nivel de Calidad 2. Es importante destacar que el Sistema Norte, debido a su ubicación geográfica, se encuentra en una zona de transición entre el altiplano y la región amazónica, lo que le confiere características operativas particulares frente a los demás sistemas gestionados por la Distribuidora.
- La Empresa de Luz y Fuerza Eléctrica Cochabamba S.A. (ELFEC S.A.)** opera mayormente en la región de los valles, específicamente en el departamento de Cochabamba, donde brinda servicio a sistemas eléctricos clasificados con Niveles de Calidad 1 y 2, según las condiciones técnicas y geográficas de su área de operación.
- La Cooperativa Rural de Electrificación R.L. (CRE R.L.)** opera en la región de los llanos, específicamente en el departamento de Santa Cruz, atendiendo sistemas eléctricos con Niveles de Calidad 1 y 2, en función de las

características técnicas y geográficas de su área de operación.

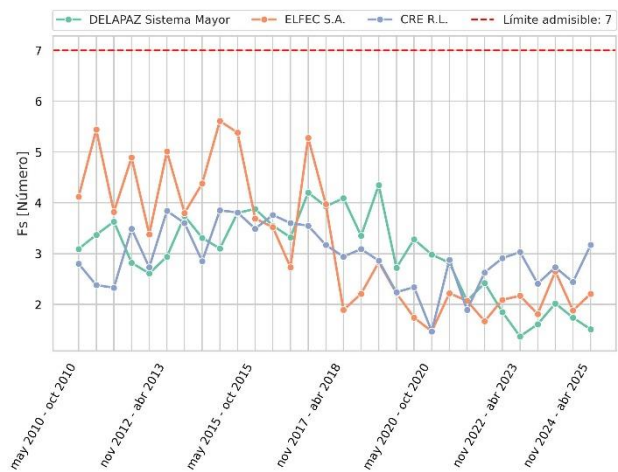
Estas empresas concentran el mayor número de consumidores y registran los más altos niveles de demanda de potencia, permitiendo un análisis del comportamiento de los Índices de Continuidad de Suministro en distintos entornos operativos, topográficos y climáticos.

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los Índices de Continuidad de Suministro.

3.1. FRECUENCIA MEDIA DE INTERRUPCIÓN (F_s) EN EL NIVEL DE CALIDAD 1 (AREA URBANA)

Resultados estadísticos generales

Fig.1. Evolución Temporal del Indicador F_s en Nivel de Calidad 1



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 presenta los valores promedio de los F_s en el Nivel de Calidad 1, junto con sus parámetros estadísticos básicos. Se observa que ELFEC S.A. registra el mayor promedio y la mayor dispersión, mientras que CRE R.L. muestra la menor variabilidad en su desempeño.

Tabla 2. Parámetros Estadísticos del Indicador F_s en el Nivel de Calidad 1

Distribuidora	Promedio	Desviación Estándar	Semestres encima del límite	Rango de variación
DELAPAZ Sistema Mayor	2,98	0,84	0	1,37 – 4,35
ELFEC S.A.	3,21	1,32	0	1,47 – 5,61
CRE R.L.	2,94	0,60	0	1,47 – 3,85

Fuente: Elaboración propia

Influencia estacional y tendencia

La Tabla 3, resume la comparación entre épocas secas y lluviosas, además de la pendiente de la regresión lineal. Se evidencia la influencia de las condiciones climáticas en el desempeño de los indicadores, particularmente en los valles (ELFEC

S.A.), donde las precipitaciones incrementan la frecuencia de interrupciones.

Tabla 3. Influencia estacional y Tendencias del Indicador F_s en el Nivel de Calidad 1

Distribuidora	Época seca (may–oct)	Época lluviosa (nov–abr)	Pendiente regresión
DELAPAZ Sistema Mayor	2,91	3,06	-0,059
ELFEC S.A.	2,99	3,42	-0,117
CRE R.L.	2,80	3,08	-0,024

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de tendencias, efectuado mediante regresión lineal, muestra pendientes negativas para las tres (3) Distribuidoras: lo que implica una reducción gradual de las interrupciones en el tiempo y refleja un proceso de mejora progresiva.

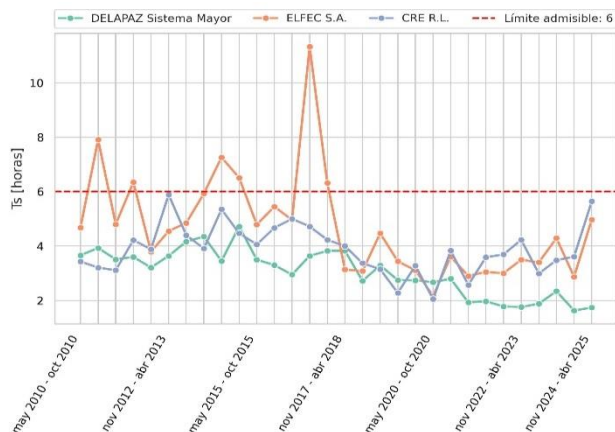
En síntesis, ninguna de las tres (3) Distribuidoras tuvo semestres que superen el límite admisible en el periodo mayo 2010 - abril 2025.

3.2. TIEMPO TOTAL DE INTERRUPCIÓN (T_s) EN EL NIVEL DE CALIDAD 1 (AREA URBANA)

Resultados estadísticos generales

En el caso del Índice T_s en el Nivel de Calidad 1, los resultados estadísticos obtenidos muestran diferencias relevantes entre las tres (3) Distribuidoras.

Fig.2. Evolución Temporal del Indicador T_s en Nivel de Calidad 1



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4, presenta los valores promedio de los tiempos de interrupción en el Nivel de Calidad 1, junto con sus principales parámetros estadísticos. Se observa que ELFEC S.A. registra el mayor promedio y dispersión, con varios semestres que superaron el límite admisible establecido en RCDE. A diferencia de DELAPAZ Sistema Mayor evidencia un desempeño más consistente, sin superar en ningún caso dicho límite. Sin embargo, CRE R.L. muestra un comportamiento intermedio, con valores estables y un control aceptable en los tiempos de reposición del suministro.

Tabla 4. Parámetros Estadísticos del Indicador T_s en el Nivel de Calidad 1

Distribuidora	Promedio (horas)	Desviación Estándar (horas)	Semestres encima del límite	Valor máximo (horas)
DELAPAZ Sistema Mayor	3,04	0,86	0	4,72
ELFEC S.A.	4,68	1,90	6	11,33
CRE R.L.	3,88	0,91	0	7,32

Fuente: Elaboración propia.

Influencia estacional y tendencia

La Tabla 5, resume la comparación del Índice T_s entre las épocas lluviosa y seca, incorporando además la pendiente de la regresión lineal. Los resultados confirman la incidencia de las condiciones climáticas en el desempeño del índice, evidenciándose valores más elevados durante el periodo lluvioso en las tres distribuidoras. El caso más representativo es el de ELFEC S.A., donde las lluvias provocan un incremento notorio en los promedios en relación con el periodo seco. En cambio, DELAPAZ Sistema Mayor y CRE R.L. registran valores más moderados y estables. Finalmente, las pendientes negativas identificadas en todas las distribuidoras reflejan una evolución favorable en la tendencia del índice.

Tabla 5. Influencia estacional y Tendencias del Indicador T_s en el Nivel de Calidad 1

Distribuidora	Promedio Época seca (may–oct)	Promedio Época lluviosa (nov–abr)	Pendiente regresión
DELAPAZ Sistema Mayor	2,91	3,18	-0,063
ELFEC S.A.	4,15	5,21	-0,055
CRE R.L.	3,60	4,15	-0,067

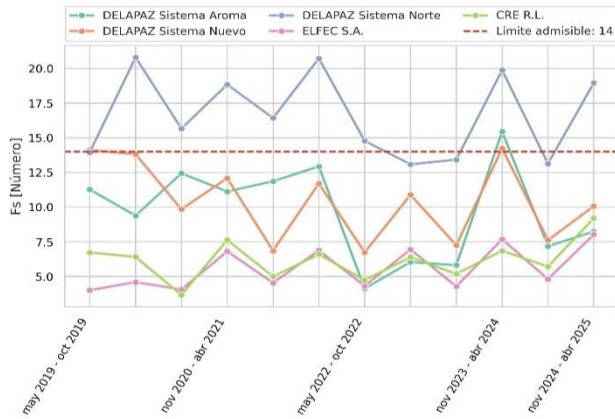
Fuente: Elaboración propia.

3.3. FRECUENCIA MEDIA DE INTERRUPCIÓN (F_s) EN EL NIVEL DE CALIDAD 2 (AREA RURAL)

Resultados estadísticos generales

El análisis del índice F_s en el Nivel de Calidad 2 (Rural), muestra patrones significativamente diferentes a los observados en el Nivel de Calidad 1 (Urbano), con valores notablemente superiores que reflejan las particularidades técnicas y operativas.

Fig.3. Evolución Temporal del Indicador F_s en Nivel de Calidad 2



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6, resume los valores promedio de interrupciones por Distribuidora y sistema, así como su dispersión y rango de variación. Se evidencia que los sistemas de DELAPAZ presentan los niveles más altos y mayor variabilidad, mientras que ELFEC S.A. y CRE R.L. muestran valores más bajos y consistentes, reflejando un desempeño relativamente estable en comparación con los sistemas de DELAPAZ.

Tabla 6. Parámetros Estadísticos del Indicador F_s en el Nivel de Calidad 2

Distribuidora	Promedio	Desviación Estándar	Semestres encima del límite	Rango de variación
DELAPAZ – Sistema Aroma	9,66	3,42	1	4,13 – 15,46
DELAPAZ – Sistema Nuevo	10,44	2,84	2	6,74 – 14,24
DELAPAZ – Sistema Norte	16,64	3,03	8	13,09 – 20,80
ELFEC S.A.	5,57	1,54	0	4,01 – 8,02
CRE R.L.	6,17	1,45	0	3,67 – 9,20

Fuente: Elaboración propia

Influencia estacional y tendencia

Según la Tabla 7, el análisis estacional revela patrones periódicos en los sistemas de DELAPAZ, con mayores niveles de interrupciones durante la época lluviosa y reducciones en la época seca. ELFEC S.A. y CRE R.L. siguen la misma tendencia, confirmando la influencia de las condiciones climáticas en la frecuencia de interrupciones. En cuanto a las tendencias, los sistemas de DELAPAZ muestran mejoras sostenidas, mientras que ELFEC S.A. y CRE R.L. evidencian un aumento en la frecuencia de interrupciones, indicando una evolución desfavorable en estos casos.

Tabla 7. Influencia estacional y Tendencias del Indicador F_s en el Nivel de Calidad 2

Distribuidora	Promedio Época seca (may–oct)	Promedio Época lluviosa (nov–abr)	Pendiente regresión
DELAPAZ – Sistema Aroma	8,78	10,53	-0,297
DELAPAZ – Sistema Nuevo	8,74	12,14	-0,303
DELAPAZ – Sistema Norte	14,57	18,72	-0,096
ELFEC S.A.	4,34	6,82	+0,222
CRE R.L.	5,17	7,18	+0,116

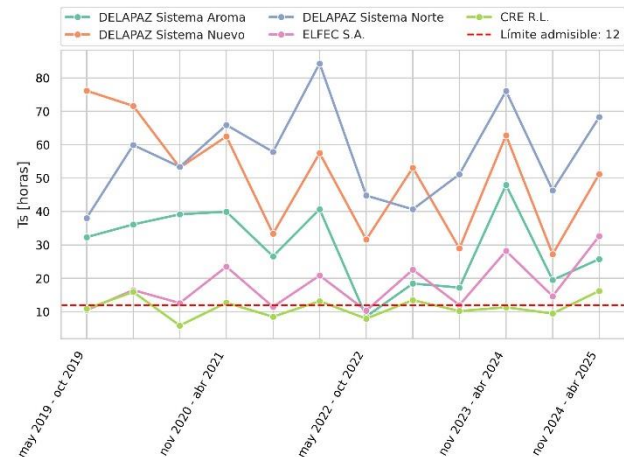
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, durante el período mayo 2019 - abril 2025, DELAPAZ presentó resultados contrastantes entre sus sistemas: el Sistema Aroma registró dos (2) semestres penalizados, el Sistema Nuevo solo uno (1), pero el Sistema Norte tuvo el desempeño más crítico con ocho (8) semestres por encima del límite admisible. Por otra parte, ELFEC S.A. y CRE R.L. mantuvieron un control aceptable de la frecuencia de interrupciones, operando dentro del límite establecido.

3.4. TIEMPO TOTAL DE INTERRUPCIÓN (T_s) EN EL NIVEL DE CALIDAD 2 (AREA RURAL)

Resultados estadísticos generales

Fig.4. Evolución Temporal del Indicador T_s en Nivel de Calidad 2



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis estadístico del Índice T_s en el Nivel de Calidad 2, muestra diferencias críticas entre las Distribuidoras.

La Tabla 8 presenta el análisis del desempeño por sistema. En este contexto, los sistemas Aroma y Nuevo de DELAPAZ registran tiempos de interrupción elevados, superando el límite admisible en varios semestres. En cuanto al Sistema Norte, se identifican los valores más altos de interrupción, con penalizaciones constantes a lo largo de todos los periodos evaluados. En contraste, ELFEC S.A. exhibe un comportamiento más variable, alternando entre semestres dentro y fuera del límite permitido.

Finalmente, CRE R.L. mantiene un desempeño más estable, con una menor frecuencia de penalizaciones en comparación con las demás distribuidoras.

Tabla 8. Parámetros Estadísticos del Indicador T_s en el Nivel de Calidad 2

Distribuidora	Promedio (horas)	Desviación Estándar (horas)	Semestres encima del límite	Valor máximo (horas)
DELAPAZ – Sistema Aroma	29,35	11,88	11	47,93
DELAPAZ – Sistema Nuevo	50,75	16,84	12	76,14
DELAPAZ – Sistema Norte	57,21	14,34	12	84,31
ELFEC S.A.	17,97	7,48	9	32,66
CRE R.L.	11,31	3,15	5	16,24

Fuente: Elaboración propia.

Influencia estacional y tendencia

La Tabla 9, presenta un resumen comparativo del Índice T_s entre las épocas lluviosa y seca, junto con la pendiente resultante de la regresión lineal que indica la tendencia temporal. Se confirma la influencia de las condiciones climáticas, observándose valores consistentemente mayores durante el periodo lluvioso en los diferentes sistemas analizados.

Los sistemas de DELAPAZ muestran tiempos de interrupción elevados, especialmente durante la época lluviosa, pero a la vez presentan pendientes negativas que evidencian una mejora progresiva en la continuidad del servicio. Por el contrario, ELFEC S.A. registra valores más bajos en comparación, pero con una pendiente positiva que refleja un ligero aumento en los tiempos de interrupción a lo largo del periodo analizado. Por su parte, CRE R.L. presenta los valores más bajos y mantiene una tendencia estable sin cambios significativos en la evolución del índice.

Aunque las condiciones climáticas afectan notablemente el desempeño del índice, los sistemas de DELAPAZ están mostrando avances en la reducción de tiempos de interrupción, mientras que ELFEC y CRE mantienen comportamientos que requieren atención para garantizar la calidad del servicio.

Tabla 9. Influencia estacional y Tendencias del Indicador T_s en el Nivel de Calidad 2

Distribuidora	Promedio Época seca (may–oct) (horas)	Promedio Época lluviosa (nov–abr) (horas)	Pendiente regresión
DELAPAZ – Sistema Aroma	23,89	34,81	-1.16
DELAPAZ – Sistema Nuevo	41,73	59,78	-2.59
DELAPAZ – Sistema Norte	48,58	65,84	+0.70
ELFEC S.A.	11,91	24,04	+1.06
CRE R.L.	8,81	13,80	+0.13

Fuente: Elaboración propia.

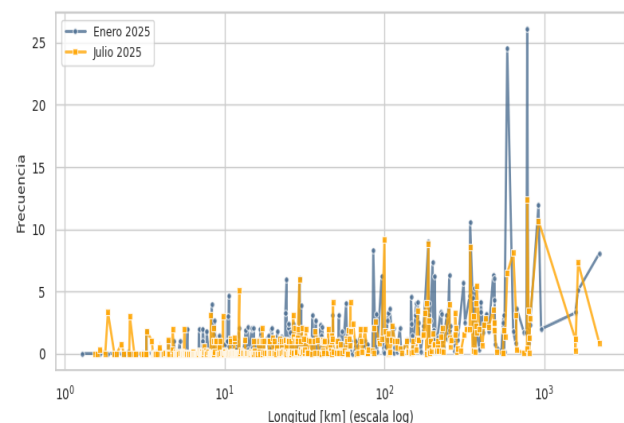
3.5. ANÁLISIS TÉCNICO DE INTERRUPCIONES POR ALIMENTADOR

En esta sección se examina el comportamiento de los alimentadores eléctricos a partir de dos (2) Índices: Frecuencia Media de Interrupción (F_s) y Tiempo Total de Interrupción (T_s), en función de la longitud de los alimentadores. Para garantizar una visión integral, se han considerado los datos consolidados de las tres (3) empresas Distribuidoras, tratándolos como un solo conjunto de información.

El análisis se ha dividido en dos (2) momentos representativos del año: la época lluviosa, representada al mes de enero de 2025 y la época seca, por el mes de julio de 2025. De esta forma, es posible identificar no solo el comportamiento general de los indicadores, sino también las diferencias que pueden surgir debido a la estacionalidad y las condiciones climáticas propias de cada periodo.

a) Relación entre la Frecuencia Media de Interrupción (F_s) y Longitudes de Alimentadores

Fig. 5. F_s vs Longitudes de Alimentadores en Época Seca y Lluviosa



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5, se aplicó una escala logarítmica en el eje de la longitud, lo que permite representar de manera más adecuada la dispersión de los datos y facilita la identificación de patrones en un rango amplio de valores.

Al respecto, se observa que el Índice F_s tiende a incrementarse a medida que aumenta la longitud de los alimentadores; no obstante, esta relación no presenta un comportamiento lineal ni uniforme.

Asimismo, tanto en época lluviosa (enero 2025) como en época seca (julio 2025), el incremento de la longitud de los alimentadores no implica necesariamente un aumento proporcional en la frecuencia de interrupciones, en efecto, los resultados muestran que la longitud de los alimentadores no siempre genera un

comportamiento predecible o constante respecto a la ocurrencia de fallas.

La Tabla 10 presenta los alimentadores con la mayor cantidad de interrupciones registradas en cada distribuidora, diferenciando entre las épocas lluviosa y seca. En DELAPAZ Sistema Norte, un alimentador destaca por un número significativamente mayor de interrupciones durante la época lluviosa en comparación con la seca. En ELFEC S.A., el alimentador con más interrupciones también muestra un patrón similar, con una mayor frecuencia en la temporada lluviosa y una reducción notable en la época seca. Por último, en CRE R.L., el alimentador identificado evidencia una mayor cantidad de interrupciones en la época lluviosa, aunque con una diferencia menos pronunciada respecto al periodo seco. Los resultados reflejan la influencia de las condiciones climáticas y las características propias de los alimentadores en la frecuencia de interrupciones.

Tabla 10. Alimentadores con Mayor F_s

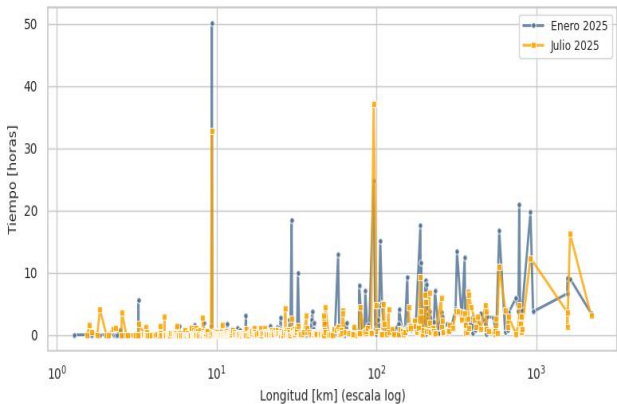
Distribuidora	Alimentador	Época Lluviosa	Época Seca
DELAPAZ – Sistema Norte	IG4 (Mapiri)	24,60	10,68
ELFEC S.A.	J-1 (San José)	6,03	2,03
CRE R.L.	25-22 (Comunidad Canandoa)	7,37	3,03

Fuente: Elaboración propia.

Esto corrobora que, si bien la longitud de los alimentadores no es un factor determinante en la cantidad de fallas, las condiciones climáticas durante la época de lluvias sí lo son, ya que incrementan considerablemente este índice.

b) Relación entre el Tiempo Total de Interrupción (T_s) y Longitudes de Alimentadores

Fig. 6. T_s vs Longitudes de Alimentadores en Época Seca y Lluviosa



Fuente: Elaboración propia.

De manera análoga, se llevó a cabo un análisis de la relación entre el Tiempo Total de Interrupción y la longitud de los alimentadores; al igual que en el

caso de la frecuencia media, se evaluaron los meses de enero 2025 (época lluviosa) y julio 2025 (época seca), utilizando nuevamente una escala logarítmica en el eje de la longitud con el objetivo de mejorar la interpretación de la dispersión de los datos.

Si bien la gráfica muestra una tendencia general a que los alimentadores de mayor longitud registren tiempos de interrupción más elevados, esta relación no resulta estrictamente proporcional ni concluyente. Debido a que, se identificaron alimentadores extensos con tiempos de interrupción relativamente bajos, así como alimentadores cortos que concentran valores elevados de interrupciones.

Este comportamiento evidencia que la longitud, por sí sola, no es un factor determinante para explicar el tiempo total de interrupción.

La Tabla 11 presenta los alimentadores que registran los mayores tiempos de reposición de suministro en cada distribuidora, diferenciando entre las épocas lluviosa y seca. En DELAPAZ Sistema Norte, el alimentador IG4 (Mapiri) muestra un tiempo de reposición considerablemente mayor durante la época lluviosa en comparación con la seca. Asimismo, en ELFEC S.A., el alimentador J-1 (San José) presenta un tiempo de reposición elevado en época lluviosa, pero significativamente reducido en época seca. Finalmente, el alimentador 30-16 (Cotoca) de CRE R.L. evidencia también un mayor tiempo de reposición en la época lluviosa, con valores mucho menores en la época seca. Estos resultados reflejan cómo las condiciones climáticas y características específicas de cada alimentador influyen en la continuidad del suministro eléctrico.

Tabla 11. Alimentadores con Mayor T_s

Distribuidora	Alimentador	Época Lluviosa	Época Seca
DELAPAZ – Sistema Norte	IG4 (Mapiri)	16,80	12,34
ELFEC S.A.	J-1 (San José)	18,52	0,17
CRE R.L.	30-16 (Cotoca)	11,53	1,33

Fuente: Elaboración propia.

En los dos puntos anteriores, se observa claramente que el factor climático influye en los Índices de Continuidad de Suministro particularmente en DELAPAZ Sistema Norte, el alimentador IG4 presenta los valores más elevados de F_s y T_s , debido a las condiciones topográficas.

3.6. CAUSAS DE INTERRUPCIONES EN OPOCAS ESTACIONALES

Considerando tanto la época lluviosa como la época seca, se lleva a cabo la identificación de las principales causas que provocan interrupciones en el suministro de las tres (3) empresas que operan con niveles de calidad 1 y 2. Este proceso tiene como finalidad comprender el comportamiento del

sistema eléctrico frente a distintas condiciones climáticas y operativas.

Tabla 12. Estadísticas de Causas de las Interrupciones

Causas de las Interrupciones		Época Seca (may 2024 – oct 2024)		Época Lluviosa (nov 2024 – abril 2025)	
		Nivel de Calidad 1 (Urbano)	Nivel de Calidad 2 (Rural)	Nivel de Calidad 1 (Urbano)	Nivel de Calidad 2 (Rural)
Programadas	Ampliaciones o Mejoras	8.56%	3.04%	7.06%	2.20%
	Reparaciones	0.13%	0.04%	0.13%	0.06%
	Mantenimiento preventivo	4.89%	2.52%	2.81%	1.31%
	Poda o derribo de árboles	0.10%	0.04%	0.01%	0.02%
	Programada no clasificada	0.21%	0.14%	0.34%	0.10%
Condiciones Climáticas – Medio Ambiente	Descargas atmosféricas	0.90%	5.34%	2.55%	16.39%
	lluvia	0.05%	0.79%	0.16%	2.55%
	viento	1.72%	2.64%	0.86%	1.38%
	Nevada o granizo	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	inundación	0.00%	0.02%	0.02%	0.06%
	Incendio	0.08%	0.43%	0.02%	0.07%
	Deslizamiento de tierra	0.04%	0.04%	0.15%	0.35%
Animales - Terceros	Caída o crecimiento de árboles	1.13%	4.85%	1.49%	5.02%
	Aves u otros animales	0.72%	2.11%	0.89%	2.35%
	Daño o interferencia intencional o voluntario	0.36%	0.14%	0.30%	0.09%
	Daño o interferencia accidental	2.52%	2.57%	2.17%	1.90%
	Falla en acometida de los consumidores	50.66%	34.20%	49.97%	20.05%
Propias de la Red	Choque de vehículo a postes, estructuras o tirantes	0.97%	0.66%	0.79%	0.49%
	Problemas e trabajo de línea viva	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
	Error de operación	0.05%	0.02%	0.04%	0.06%
	Sobre carga	0.19%	0.25%	0.16%	0.11%
	Instalación o construcción deficiente	0.50%	0.17%	0.47%	0.18%
	Aplicación incorrecta de equipos	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Mala operación o ajuste de equipos de protección	0.03%	0.01%	0.04%	0.04%
	Deterioro	3.41%	4.29%	3.91%	2.42%
	Falta o mantenimiento inadecuado de líneas o equipos	0.02%	0.05%	0.02%	0.03%
	Líneas reventadas	0.38%	1.08%	0.68%	0.58%
Otras	Líneas trenzadas	0.04%	0.05%	0.03%	0.06%
	No clasificadas	17.44%	18.08%	16.83%	19.69%
	No determinadas	4.88%	16.44%	8.08%	22.44%

Fuente: Elaboración propia.

La información registrada en la Tabla 12 permite comparar las causas de interrupciones en el suministro eléctrico durante las épocas seca y lluviosa. En ambos periodos, las fallas en las acometidas de los consumidores constituyen la causa más frecuente, seguidas por eventos asociados a trabajos programados como ampliaciones, mejoras y mantenimiento preventivo, así como por el deterioro de componentes de la red.

Durante la época lluviosa se evidencian con mayor frecuencia las interrupciones causadas por fenómenos meteorológicos, especialmente descargas atmosféricas, lluvias, caída o crecimiento

de árboles, y deslizamientos de tierra. Estos factores reflejan el impacto directo de las condiciones climáticas en la continuidad del servicio eléctrico. Por otro lado, en la época seca se observan más eventos relacionados con incendios, poda o derribo de árboles y mantenimiento, actividades que suelen planificarse en ausencia de lluvias.

Las interferencias accidentales e intencionales, los choques de vehículos contra estructuras, y la presencia de animales también se presentan de manera significativa en ambas temporadas, sin variaciones marcadas entre una y otra. Asimismo, existen causas que, si bien tienen menor incidencia, como errores de operación, sobrecarga, o deficiencias en la instalación, se distribuyen de forma similar a lo largo del periodo.

Finalmente, se observa una cantidad significativa de interrupciones sin causa clasificada o no determinada, lo que evidencia la necesidad de reforzar los procesos de diagnóstico y registro. Esto permitirá una mejor caracterización de los eventos y una toma de decisiones más efectiva en la gestión del servicio.

4. CONCLUSIONES

El análisis estadístico realizado evidencia que, en el Nivel de Calidad 1, DELAPAZ, ELFEC S.A. y CRE R.L. han logrado mantener los Indicadores de Continuidad de Suministro en Baja Tensión F_s y T_s , dentro de los límites admisibles establecidos en el RCDE, mostrando tendencias descendentes que reflejan mejoras en la gestión de mantenimiento preventivo y en la respuesta operativa ante interrupciones.

En el Nivel de Calidad 2, los resultados para los sistemas de DELAPAZ, presentan altos valores de Índices de Continuidad de Suministro, con reiteradas penalizaciones y variabilidad significativa; aunque se observan mejoras graduales en los Sistemas Aroma y Nuevo; sin embargo, la persistencia de valores elevados en el Sistema Norte y la tendencia creciente en los tiempos de reposición en ELFEC S.A. y CRE R.L. evidencian la necesidad de implementar estrategias correctivas, incluyendo programas de renovación de infraestructura, automatización de redes y optimización de los planes de contingencia.

Se verificó la influencia de la estacionalidad en el comportamiento de los Indicadores de Continuidad de Suministro, evidenciándose incrementos significativos de F_s y T_s durante la época lluviosa; este efecto es particularmente notorio en las Distribuidoras situadas en los valles y llanos incluyendo a DELAPAZ Sistema Norte que corresponde a una zona de transición entre el altiplano y la amazonia, donde los efectos de las

precipitaciones y descargas atmosféricas generan un mayor número de interrupciones y prolongan los tiempos de reposición de suministro.

En el análisis los Índices F_s y T_s por longitudes de alimentadores, mostró que dichos índices tienen cierta relación de proporcionalidad; sin embargo, no es lineal ni determinante por sí sola, debido a que identificó que existen alimentadores largos con frecuencia o tiempo de interrupciones relativamente bajas y alimentadores cortos con valores elevados, lo que indica que otros factores, como ser el estado de la infraestructura de vías, la exposición a condiciones ambientales y la gestión operativa, podrían influir de manera más significativa, que la longitud de los alimentadores, en el comportamiento de los Índices de Continuidad de Suministro.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener y fortalecer las estrategias que han contribuido a la reducción de la Frecuencia Media de Interrupción (F_s) y el Tiempo Total de Interrupción (T_s) de las interrupciones en el Nivel de Calidad 1 (Urbano), esto incluye la continuidad y expansión de los programas de mantenimiento preventivo sistemático, la automatización y modernización de las redes en zonas urbanas, así como la capacitación continua del personal técnico, con el fin de asegurar una operación eficiente y sostenida en el tiempo.

Asimismo, se recomienda que en sistemas de Nivel de Calidad 2 (Rural), se implementen planes de mejora focalizados, adaptados a las condiciones geográficas y climáticas específicas de cada zona. Asimismo, se sugiere reforzar la infraestructura eléctrica en áreas rurales y dispersas, priorizando aquellas con mayor nivel de afectación; además de incorporar tecnologías de restablecimiento automático y segmentación de redes, mediante la instalación de seccionadores y reconectores, considerando el crecimiento poblacional y la expansión de la demanda de consumo de energía en zonas rurales.

Con base en el análisis de las principales causas de interrupciones del servicio eléctrico, se recomienda implementar un plan integral que aborde tanto los factores naturales como los operativos. Dado que las descargas atmosféricas representan una de las principales causas de interrupciones, resulta prioritario fortalecer los sistemas de protección contra rayos mediante la instalación de pararrayos, descargadores de sobretensión y mejoras en los sistemas de puesta a tierra. Asimismo, se debe intensificar el manejo y control de la vegetación en las franjas de servidumbre, así como establecer medidas preventivas contra incendios forestales, especialmente durante la temporada seca. En cuanto a las interrupciones originadas en las acometidas de los consumidores, se recomienda

llevar a cabo campañas de concientización y brindar asesoría técnica para asegurar el mantenimiento adecuado de las instalaciones internas. Finalmente, la elevada proporción de causas de interrupciones no determinadas o no clasificadas pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los procesos de diagnóstico, registro y análisis de fallas, con el fin de optimizar la gestión y prevención de interrupciones futuras.

6. REFERENCIAS

[1] Gaceta Oficial de Bolivia “La Ley N° 1604 de Electricidad de 21 de diciembre de 1994”, disponible en: http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/verGratis_gob/280526.

[2] Gaceta Oficial de Bolivia “Reglamento de Calidad de Distribución de Electricidad (RCDE)”, disponible en: https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/IMG-ML_RLE-admin-2012-03-12-26607.pdf.

[3] Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear (AETN) “Metodología de Medición y Control de Calidad de Distribución de Electricidad aprobada mediante Resolución SSDE N° 016/2008 del 28 de enero de 2008”, disponible en: http://srvdocs.ae.gob.bo/ae/control_calidad/Slcca_d_SIN-SSDE_016-08.pdf.

[4] Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear (AETN) “Anuario Estadístico Histórico 2024” disponible en: [https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/AETN25-0715090555\(jojopi\).pdf](https://sawi.aetn.gob.bo/docfly/app/webroot/uploads/AETN25-0715090555(jojopi).pdf).

Elaborado por:

- Luis Fernando Fernandez Quispe
- Roger Rodmy Molina Aliaga
- Claudina Eva Quispe Rosa

ANALISTAS CONTROL DE CALIDAD DE DISTRIBUCION - AETN