

Evaluación de la Confiabilidad Operativa del Alimentador San José Sur, Quevedo – Ecuador**Evaluation of Operational Reliability of the San José Sur Feeder, Quevedo – Ecuador**

Silvia Virginia Taipe Quilligana, Diego Alejandro Basurto Choez, Alberto Ricardo Delgado Revilla & Milton Geovanny Cuenca Cabrera

**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
SOCIEDAD****Julio - diciembre, V°7 - N°2; 2026****Recibido:** 06-08-2026**Aceptado:** 08-08-2026**Publicado:** 11-08-2026**PAIS**

- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo

INSTITUCION

- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo

CORREO:

- ✉ staipeq@uteq.edu.ec
- ✉ dbasurtoc2@uteq.edu.ec
- ✉ adelgador@uteq.edu.ec
- ✉ mcuencac@uteq.edu.ec

ORCID:

-  <https://orcid.org/0000-0001-5010-5466>
-  <https://orcid.org/0000-0001-7952-6088>
-  <https://orcid.org/0009-0009-2726-2338>
-  <https://orcid.org/0000-0002-8409-2007>

FORMATO DE CITA APA.

Taipe, S., Basurto, D., Delgado, A. & Cabrera, M. (2026). Evaluación de la Confiabilidad Operativa del Alimentador San José Sur, Quevedo – Ecuador. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°2). Pág. 2951 – 2967.

Resumen

El alimentador San José Sur, en Quevedo (Ecuador), presenta interrupciones no planificadas que afectan la calidad del servicio eléctrico entregado a usuarios residenciales, comerciales e industriales. Por ello, se evaluaron los índices de confiabilidad operativa de este alimentador rural mediante un análisis comparativo entre dos enfoques: una simulación de Monte Carlo, con tiempos hasta la falla modelados mediante la distribución de Weibull seleccionada por su mejor ajuste según la prueba de Kolmogorov–Smirnov, y el método analítico de convolución discreta, basado en un modelo estacionario de dos estados. Se utilizaron datos de interrupciones en el período 2024–2025, obtenidos por CNEL EP Unidad de Negocio Los Ríos, simulado en MATLAB R2025b, analizados en Microsoft Excel y STATGRAPHICS Centurion. Los resultados adquiridos en el año 2024 el alimentador desempeño límites normativos (FMIK = 5, TTIK = 5,37 h). En 2025 el FMIK alcanza a 8, superando el límite de 7 fijado para los alimentadores rurales, el TTIK (9,10 h) se mantuvo dentro del límite permitido máximo de 10 h. El método de convolución discreta entregó datos fijos de disponibilidad (0,9501) e indisponibilidad (0,0499), mientras la simulación de Monte Carlo y Weibull presentó una reducción progresiva de la confiabilidad en el transcurso del tiempo, resultando un valor específico en el comportamiento real del sistema. Se concluye que las perturbaciones en la red son la principal causa de las interrupciones, por lo que se recomienda implementar mantenimiento basado en condición y segmentar el alimentador para mejorar sus índices de confiabilidad.

Palabras clave: confiabilidad operativa, simulación Monte Carlo, convolución discreta, distribución de Weibull, sistemas de distribución eléctrica.

Abstract

At the San José Sur substation, located in Quevedo, Ecuador, unscheduled outages are occurring that directly affect the quality of the power supply for residential, commercial, and industrial customers. In response to this situation, its operational reliability indices were evaluated by comparing two estimation methods. On the one hand, a Monte Carlo simulation was used, in which times to failure were modeled using a Weibull distribution, chosen because it showed the best fit in the Kolmogorov–Smirnov test; on the other hand, a discrete convolution analytical method was applied, based on a two-state stationary model. The study used historical outage records for the 2024–2025 period, provided by CNEL EP – Los Ríos Business Unit, which were processed using MATLAB R2025b, Microsoft Excel, and STATGRAPHICS Centurion. It should be noted that, during 2024, the feeder remained within regulatory limits, with an FMIK of 5 and a TTIK of 5.37 h; in 2025, however, the FMIK rose to 8, exceeding the permissible value for rural feeders, although the TTIK of 9.10 h remained within the maximum limit of 10 h. In the discrete convolution method, availability was 0.9501 and unavailability was 0.0499; the Monte Carlo simulation using the Weibull distribution showed a gradual decline in reliability, more closely matching the observed behavior of the system. The study concludes that grid disturbances are the main cause of outages, and recommends implementing condition-based maintenance and segmenting the feeder to improve its reliability indices.

Keywords: operational reliability, Monte Carlo simulation, discrete convolution; Weibull distribution; electrical distribution systems.

Introducción

El crecimiento sostenido de la demanda de energía eléctrica en Ecuador exige que las empresas distribuidoras optimicen la operación y el mantenimiento de sus redes para garantizar la continuidad y la calidad del servicio (Ministerio de Energía y Minas, s. f.). En este contexto, la confiabilidad de los sistemas de distribución constituye un aspecto fundamental para asegurar el suministro eficiente y seguro de energía, dado que las interrupciones afectan directamente el estado operativo de los componentes de la red (Zapata, 2011). El alimentador San José Sur, perteneciente a la Subestación Quevedo Sur, en la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, constituye una de las principales líneas de distribución que abastece a usuarios residenciales, comerciales e industriales, y enfrenta interrupciones no planificadas, fallas técnicas y limitaciones operativas asociadas al crecimiento poblacional y económico de la zona (Moreira Sánchez & Mena Vélez, 2022).

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) establece, mediante la Regulación Nro. ARCERNNR-002/20, los límites de frecuencia y duración de interrupciones que deben cumplir las empresas distribuidoras (ARCERNNR, 2020a), en concordancia con los índices SAIDI, SAIFI y CAIDI definidos por la norma internacional IEEE Std 1366-2022 (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2022). Estudios previos en el contexto ecuatoriano, como el de Sisa Sisa y Quinatoa Caiza (2023) en los alimentadores de la subestación Cristianía de la Empresa Eléctrica Quito, han demostrado que la simulación de Monte Carlo permite representar de forma más realista la variabilidad de los tiempos de falla y reparación que los métodos puramente deterministas, mientras que la convolución discreta se ha empleado como técnica analítica de contraste para validar dichos resultados (Villa Grajales & Vernaza Castrillón, 2020). En un sistema de distribución de la región latinoamericana, Ahmed Coronel (2022) encontró que los modelos probabilísticos permiten estimar el

comportamiento de las fallas y reparaciones bajo condiciones operativas reales, con resultados diferentes a los obtenidos mediante enfoques deterministas tradicionales. En el alimentador San José Sur existe una falta de estudios de investigación que comparen estos enfoques. Por esta razón, se planteó evaluar sus índices de confiabilidad operativa mediante la simulación de Monte Carlo y el método de convolución discreta, con el fin de formular propuestas técnicas y operativas para fortalecer la red. Como variables independientes se consideraron la simulación de Monte Carlo y la convolución discreta, y como variables dependientes los índices TTIK, FMIK, MTTR, MTBF, MTTF, disponibilidad (A) e indisponibilidad (U), abordados mediante un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y comparativo, con un diseño no experimental de carácter longitudinal.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección de Materiales y Métodos se describe el entorno del estudio, los instrumentos empleados y el procedimiento aplicado para el cálculo de los índices de confiabilidad; en Análisis de Resultados se presentan los hallazgos obtenidos y se discuten a la luz de la literatura previa; y finalmente se exponen las conclusiones derivadas del estudio.

Métodos y Materiales

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y diagnóstico, orientado a evaluar y mejorar un sistema real, el alimentador San José Sur, mediante la recopilación y el estudio de datos operativos históricos, complementado con un componente documental basado en normas técnicas (IEEE Std 1366-2022; ARCERNNR, 2020a, 2020b), bibliografía especializada (Zapata, 2011) y tesis afines desarrolladas en universidades ecuatorianas (Moreira Sánchez & Mena Vélez, 2022; Rivera Plaza & Sisa Sisa, 2020; Razo Taco, 2021; Sanguano Yapó, 2021; Torres Estrada, 2024). El diseño fue no experimental, longitudinal y comparativo, dado que se examinaron datos históricos

auténticos del alimentador correspondientes a 2024 y 2025, aplicando dos enfoques probabilísticos distintos (simulación de Monte Carlo y convolución discreta) al mismo conjunto de datos, en línea con el enfoque cuantitativo descrito por Hernández Sampieri et al. (2014), sustentado en la recolección y el análisis estadístico de datos numéricos para contrastar hipótesis y establecer patrones de comportamiento. Se emplearon los métodos inductivo, deductivo, analítico, sintético y comparativo: el inductivo permitió deducir el estado del sistema a partir de los registros de interrupciones, el deductivo facilitó aplicar los modelos de confiabilidad de la norma IEEE Std 1366-2022 (IEEE, 2022) a la información del alimentador, el analítico descompuso el sistema en sus elementos constitutivos (líneas, transformadores y seccionadores), el sintético integró los resultados parciales en una visión global, y finalmente el comparativo permitió comprobar las ventajas, limitaciones y precisión de ambos métodos probabilísticos.

El estudio se desarrolló en el alimentador San José Sur, perteneciente a la Subestación Quevedo Sur, ubicada en la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador (coordenadas X: -1,0478682862269482; Y: -79,49150138957215). Este alimentador, de configuración rural, cubre zonas como la urbanización El Guayacán, la urbanización San José N.º 2 y parte del centro de la ciudad. Para el año 2025, el alimentador registró una longitud de 13,148 km, 45 seccionadores, 194 transformadores monofásicos (7,15 MVA instalados) y 59 transformadores trifásicos (10,02 MVA instalados), abasteciendo a 4272 usuarios con un consumo energético de 1985,72 MWh/año y 841 luminarias de alumbrado público.

Como instrumentos de investigación se utilizaron registros históricos de fallas e interrupciones suministrados por la empresa distribuidora CNEL EP – Unidad de Negocio Los Ríos, correspondientes a la frecuencia, duración, causa y origen de las interrupciones ocurridas entre 2024 y 2025; bases de datos técnicas del alimentador con parámetros como

potencia instalada, cantidad de transformadores, longitud de red y número de usuarios; hojas de cálculo en Microsoft Excel para el procesamiento inicial de los datos y el cálculo de tasas de falla, MTTR y MTBF; el software MATLAB R2025b para la implementación del algoritmo de simulación de Monte Carlo; el software STATGRAPHICS Centurion para las pruebas de bondad de ajuste de distribuciones probabilísticas, siguiendo procedimientos de análisis Weibull recomendados en la literatura técnica de mantenimiento e ingeniería de confiabilidad (Fractal, 2023); y la normativa técnica vigente (IEEE, 2022; ARCERNNR, 2020a) como referencia para la definición, el cálculo y la interpretación de los índices de confiabilidad, incluidos los conceptos de tiempo medio hasta la falla (MTTF) empleados en el análisis (MaxGrip, 2025).

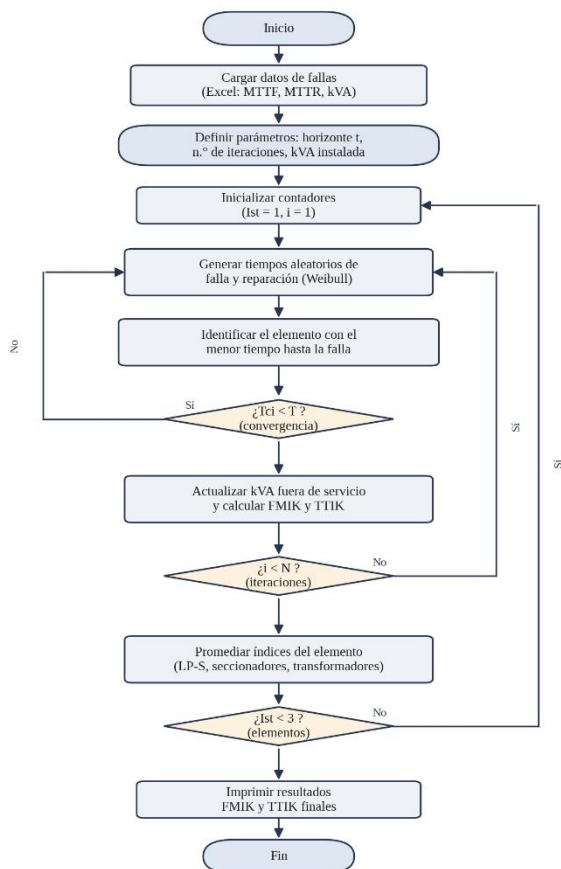
El procedimiento se desarrolló en cinco fases. En la primera se recogieron y analizaron los datos técnicos del alimentador como planos unifilares, registros de fallas, reportes de mantenimiento e histórico de operación. En la segunda se identificaron los parámetros operativos relacionados con las tasas de falla, MTTR, frecuencia y duración de interrupciones y se calcularon los índices SAIDI, SAIFI y CAIDI conforme a la normativa ARCERNNR y a la norma IEEE Std 1366-2022. En la tercera etapa se aplicó la simulación de Monte Carlo. Para ello las interrupciones registradas en el período 2024–2025 se sometieron a pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov–Smirnov) mediante STATGRAPHICS Centurion. Se compararon las distribuciones exponencial de dos parámetros, lognormal, normal, uniforme y Weibull, esta última presentó el mejor ajuste (valor-P = 0,96185) por lo que los tiempos hasta la falla se modelaron mediante dicha distribución ($\beta = 1,58976$; $\eta = 6772,52$ h). Los parámetros se estimaron a partir del gráfico de probabilidad de Weibull. El algoritmo se implementó en MATLAB R2025b, importando los tiempos medios entre fallas (MTTF), los tiempos medios de reparación (MTTR), la potencia asociada a cada elemento y el registro de ocurrencia de fallas desde un archivo

de Excel mediante la función readtable. Para cada iteración se generaron tiempos aleatorios a la falla mediante la función wblrnd, se identificó el elemento con el menor tiempo de falla, se simuló el tiempo de reparación mediante una distribución exponencial basada en el MTTR correspondiente, se actualizó el tiempo acumulado de la simulación y se registraron la potencia fuera de servicio y la indisponibilidad acumulada.

El proceso se repitió durante 1000 iteraciones para cinco horizontes temporales (730; 4380; 8760; 13 140 y 17 520 horas, equivalentes a 1, 6, 12, 18 y 24 meses), calculándose los índices FMIK y TTIK de forma acumulativa. En la cuarta etapa se aplicó el método de convolución discreta como técnica analítica de contraste: la disponibilidad (A) y la indisponibilidad (U) de cada tipo de elemento se calcularon mediante el modelo de dos estados a partir de la tasa de falla (λ) y la tasa de reparación (μ), y se construyó la distribución de probabilidad de los estados del sistema $P(X = k)$ mediante un proceso recursivo basado en la operación matemática de convolución de tiempo discreto (Baraniuk et al., 2022), implementado en hojas de cálculo de Excel, donde X representa el número de componentes fuera de servicio simultáneamente. En la quinta etapa se realizó el análisis comparativo entre los índices obtenidos mediante ambos métodos, evaluando su correspondencia, sus diferencias y su pertinencia para el análisis del comportamiento operativo del alimentador.

La verificación de los instrumentos y del ajuste del modelo probabilístico se realizó mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov (software STATGRAPHICS Centurion), que permitió contrastar cinco distribuciones candidatas (exponencial de dos parámetros, lognormal, normal, uniforme y Weibull) frente al historial real de horas entre fallas del alimentador, seleccionando la de mejor ajuste estadístico como base para la simulación de Monte Carlo, con lo cual se garantizó la validez del modelo empleado para la estimación de los índices de confiabilidad.

Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo de simulación de Monte Carlo Nota: Elaboración propia a partir del procedimiento computacional implementado en MATLAB R2025b



Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del procesamiento de los registros históricos del alimentador San José Sur correspondientes a los años 2024 y 2025, organizados según las características generales del sistema, los índices de confiabilidad basados en la potencia interrumpida, la disponibilidad de sus elementos, y los resultados comparativos de los métodos de simulación de Monte Carlo y convolución discreta.

Tabla 1. Características generales del alimentador San José Sur, años 2024 y 2025.

Parámetro	2024	2025
Longitud (km)	13,149	13,148
Seccionadores	45	45
Transformadores monofásicos (cant. / MVA)	128 / 7,02	194 / 7,15
Transformadores trifásicos (cant. / MVA)	38 / 4,86	59 / 10,02
Usuarios	3265	4272
Energía consumida (MWh/año)	1201,270	1985,72
Luminarias de alumbrado público	811	841
Energía de alumbrado público (MWh/año)	70,21	68,96

Nota: Elaboración propia a partir de la base de datos CNEL EP – Los Ríos.

La Tabla 1 evidencia el crecimiento del alimentador entre 2024 y 2025, con un aumento del 30,8 % en el número de usuarios y del 65,3 % en la energía consumida, así como una ampliación de la capacidad de transformación instalada, particularmente en transformadores trifásicos.

Tabla 2. Índices globales FMIK y TTIK del alimentador San José Sur, años 2024 y 2025

Año	Tipo de interrupción	FMIK	TTIK (h)	Límite FMIK/TTIK	Cumple
2024	No programadas	4	5,311665	7 / 10	Sí
2024	Programadas	1	0,059167	7 / 10	Sí
2024	Total	5	5,370832	7 / 10	Sí
2025	No programadas	8	9,10833	7 / 10	FMIK: No / TTIK: Sí
2025	Programadas	0	0	7 / 10	Sí
2025	Total	8	9,10833	7 / 10	FMIK: No / TTIK: Sí

Nota: Límites de FMIK y TTIK establecidos por la ARCERNNR para alimentadores rurales, conforme a la Regulación Nro. ARCERNNR-002/20 (ARCERNNR, 2020a).
Elaboración propia a partir de la base de datos CNEL EP – Los Ríos.

En 2024, el alimentador San José Sur cumplió íntegramente con los límites normativos de frecuencia y duración de interrupciones para alimentadores rurales. En 2025, en cambio, el FMIK total ascendió a 8, superando el límite máximo de 7 interrupciones, mientras que el TTIK (9,10833 h) se mantuvo dentro del límite de 10 h, lo que evidencia un incumplimiento parcial atribuible exclusivamente a la frecuencia de las interrupciones no programadas.

Tabla 3. Índices de confiabilidad por elemento del alimentador San José Sur, año 2025

Elemento	λ (fallas/h)	μ (1/h)	MTTR (h/falla)	MTTF (h/falla)	MTTF (días/falla)
Líneas principales y laterales	0,000456621	1,05263158	0,950	2190	91,25
Transformadores	0,000342466	1,78571429	0,56	2920	121,67
Seccionadores	0,000114155	10	0,1	8760	365

Nota: Elaboración propia a partir de los registros históricos de fallas CNEL EP – Los Ríos.

Tabla 4. Pruebas de bondad de ajuste y parámetros de la distribución de Weibull

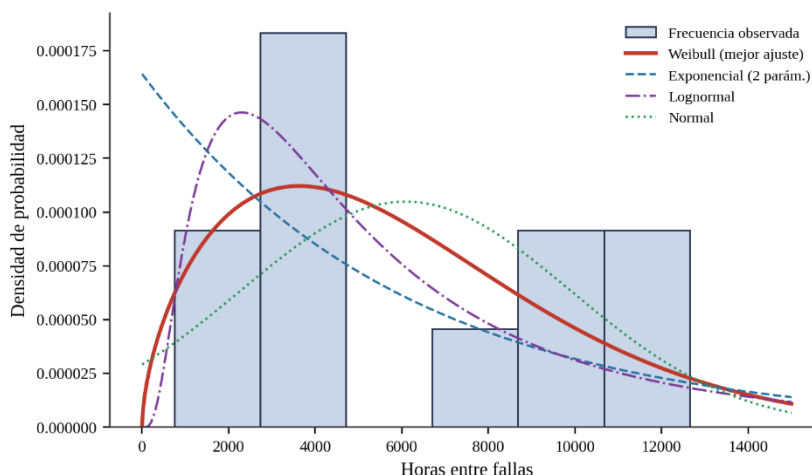
Estadístico	Exponencial (2 parám.)	Lognormal	Normal	Uniforme	Weibull
DN (Kolmogorov–Smirnov)	0,245235	0,219901	0,203384	0,232955	0,151726
Valor-P	0,53765	0,662016	0,753078	0,589256	0,96185

Nota: Parámetros de Weibull estimados: β (forma) = 1,58976; η (escala) = 6772,52 h. Elaboración propia mediante STATGRAPHICS Centurion.

Todas las distribuciones evaluadas presentaron valores-P superiores al nivel de significancia de 0,05, por lo que ninguna pudo descartarse estadísticamente; sin embargo, la distribución de Weibull registró el mayor valor-P (0,96185) y el menor estadístico DN, evidenciando el mejor ajuste global al historial de horas entre fallas del alimentador. A diferencia de la distribución exponencial, que asume una tasa de falla constante, la Weibull permite modelar procesos con tasa de falla variable, asociada al envejecimiento de los

equipos y la degradación progresiva de los materiales, por lo que fue seleccionada como base para la simulación de Monte Carlo.

Figura 2. Histograma de horas entre fallas y distribuciones de ajuste



Nota: Elaboración propia a partir del historial de fallas 2024–2025 y de los parámetros de ajuste obtenidos en STATGRAPHICS Centurion.

Tabla 5. Resultados de la simulación de Monte Carlo (distribución de Weibull) por horizonte temporal

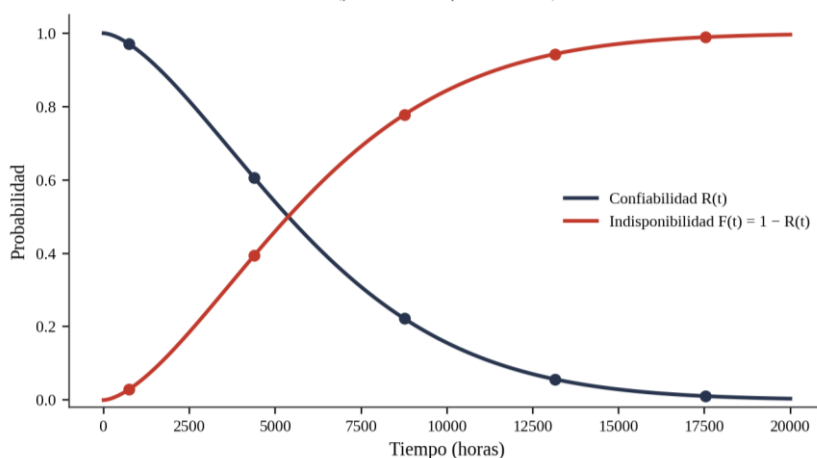
t (meses)	t (horas)	Indisponibilidad	Confiabilidad
1	730	0,0285591	0,971441
6	4380	0,393557	0,606443
12	8760	0,778079	0,221921
18	13 140	0,943197	0,0568028
24	17 520	0,989234	0,0107661

Nota: Resultados obtenidos a partir de 1000 iteraciones Monte Carlo (algoritmo implementado en MATLAB R2025b). Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la Tabla 5, tienen una reducción progresiva de la confiabilidad del alimentador acorde al horizonte del análisis. En un mes el tiempo obtenido es de 730 horas mientras la confiabilidad estimada es de 0,9714 y a los 24 meses el total es de 17520 horas disminuyendo a un valor de 0,0108 reflejando el ambiente acumulativo del riesgo de la falla del modelo de Weibull.

Complementariamente, el análisis estadístico de las 1000 iteraciones generadas mostró un tiempo promedio de horas en las operaciones entre las fallas con un valor de 6113,88h en un intervalo mínimo de 83,70h y máximo de 21498h, con un sesgo positivo de 0,7895 que indica la mayoría de los eventos simulados, concentrados en tiempos inferiores al promedio.

Figura 3. Curvas de confiabilidad e indisponibilidad según la distribución de Weibull



Nota: Elaboración propia a partir de los parámetros de Weibull ($\beta = 1,58976$; $\eta = 6772,52$ h) y de los resultados de la Tabla 5.

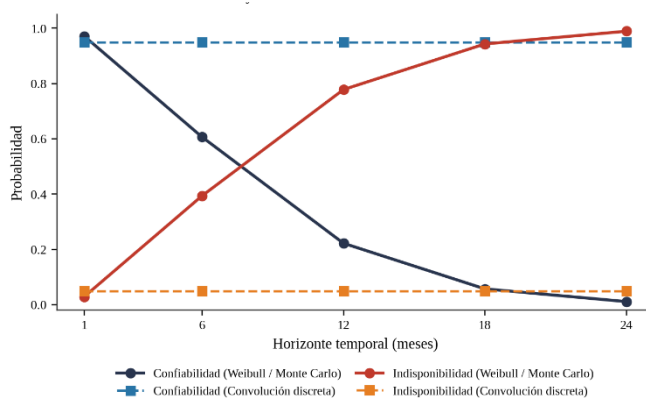
Tabla 6. Comparación entre la distribución de Weibull (Monte Carlo) y el método de convolución discreta

t (meses)	t (horas)	Indisp. (Convolución)	Confiab. (Convolución)	Indisp. (Weibull)	Confiab. (Weibull)
1	730	0,049909565	0,950090435	0,0285591	0,971441
6	4380	0,049909565	0,950090435	0,393557	0,606443
12	8760	0,049909565	0,950090435	0,778079	0,221921
18	13 140	0,049909565	0,950090435	0,943197	0,0568028
24	17 520	0,049909565	0,950090435	0,989234	0,0107661

Nota: El método de convolución discreta se basa en el modelo estacionario de dos estados, por lo que sus resultados permanecen constantes en el tiempo. La distribución de probabilidad de estados obtenida mostró que la probabilidad de que todos los elementos se encuentren operativos ($k = 0$) es de 0,950090, y la de una falla simultánea ($k = 1$), de 0,048648. Elaboración propia.

El enfoque de convolución discreta ofrece cifras fijas de disponibilidad (0,950090) e indisponibilidad (0,049910) a lo largo de los distintos intervalos de evaluación, dado que se basa en un modelo estático de dos estados en el que las tasas de falla y reparación se consideran constantes; estos resultados reflejan el comportamiento promedio del sistema en estado estacionario, independientemente del período analizado. En el modelo de Weibull se empleó la simulación de Monte Carlo, considerando explícitamente la dependencia temporal de la tasa de fallas, capturando fenómenos en la degeneración gradual de los componentes, mientras los índices de confiabilidad fluctúan en el transcurso del tiempo mostrando una disminución progresiva conforme se extiende el período de análisis.

Figura 4. Comparación entre la simulación de Monte Carlo (Weibull) y el método de convolución discreta



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 6.

Los resultados obtenidos son coherentes con la evidencia observada en estudios similares sobre alimentadores de distribución en Ecuador, en los cuales la simulación de Monte Carlo ha demostrado representar de forma más realista la variabilidad de los tiempos de falla y reparación que los enfoques puramente deterministas, generando estimaciones más precisas para la toma de decisiones técnicas orientadas a mejorar la continuidad del servicio. En la presente investigación, la simulación de Monte Carlo combinada con la distribución de Weibull que obtuvo el mejor ajuste estadístico, con un valor-P de 0,96185

mostró de manera análoga una mayor sensibilidad a la evolución temporal del comportamiento del sistema, en comparación con el método de convolución discreta, que arrojó valores constantes de disponibilidad e indisponibilidad.

La diferencia de estos métodos es fundamental teórico entre ambos enfoques, mientras la convolución discreta asume tasas de falla y reparación constantes en un régimen estacionario de Markov, la distribución de Weibull incorpora la tasa de las fallas en los tiempos establecidos, permitiendo representar la degradación progresiva de los componentes de una red de distribución. Este comportamiento permite que los sistemas de distribución concentran la mayor cantidad de interrupciones del suministro eléctrico en función del tiempo de exposición de sus componentes, empleando herramientas estadísticas avanzadas para modelar el comportamiento de las fallas y evaluar el desempeño operativo de los alimentadores de manera objetiva y cuantificable.

El incumplimiento parcial del índice FMIK en el año 2025 (valor de 8 frente al límite normativo de 7) resulta que las perturbaciones en la red forman la causa de interrupciones, acumulando aproximadamente el 67 % del total de eventos registrados durante en el año. Este hallazgo permite reforzar los indicadores estandarizados de frecuencia y duración de interrupciones para caracterizar el desempeño operativo de los alimentadores, de las normativas vigentes para la clasificación de interrupciones según duración, origen y causa. Desde el punto de vista práctico, estos resultados sugieren que las estrategias de mantenimiento preventivo basado en condición y la segmentación del alimentador mediante equipos de seccionamiento constituyen medidas prioritarias para reducir tanto la frecuencia (FMIK) como la duración total (TTIK) de las interrupciones.

No obstante, cabe señalar que el método de convolución discreta, pese a no capturar la evolución temporal de la confiabilidad, resulta útil como técnica de contraste y

validación de los resultados obtenidos mediante simulación estocástica, dado que ofrece una referencia analítica estable frente a la variabilidad inherente de los escenarios simulados. La complementariedad de ambos enfoques, uno dinámico y otro estacionario, aporta mayor solidez metodológica al análisis de confiabilidad y proporciona un respaldo técnico más sólido para la planificación y optimización del alimentador San José Sur.

Conclusiones

El comportamiento del alimentador San José Sur entre 2024 y 2025 evidencia que el crecimiento sostenido de la demanda y del número de usuarios incide directamente sobre la frecuencia de interrupciones no programadas, llevando al sistema de un cumplimiento pleno de los límites normativos a un incumplimiento parcial concentrado exclusivamente en el índice de frecuencia (FMIK), mientras que la duración total de las interrupciones (TTIK) se mantuvo controlada dentro del margen permitido. Este indicador del deterioro observado no responde a una falla de la red, sino a un aumento puntual en la ocurrencia de eventos no programados, lo que direcciona a las acciones correctivas hacia la causa raíz de dichas interrupciones en el tiempo de restablecimiento del servicio.

El método de convolución discreta, con disponibilidad de 0,9501 e indisponibilidad de 0,0499 se demostró un promedio estacionario del sistema, mientras que la simulación de Monte Carlo con distribución de Weibull se obtuvo el mejor ajuste estadístico, con un valor-P de 0,96185, finalmente el resultado más representativo de la dinámica temporal real del alimentador, al capturar la disminución progresiva de la confiabilidad conforme se extiende el horizonte de análisis. Esta complementariedad entre un enfoque estacionario y uno dinámico consolida la fiabilidad del análisis de confiabilidad realizado.

Dado que las perturbaciones en la red constituyen la causa dominante de interrupciones, se recomienda implementar mantenimiento preventivo basado en condición

y segmentar el alimentador mediante equipos de seccionamiento, con el fin de reducir tanto la frecuencia como la duración total de las interrupciones. Asimismo, futuras líneas de investigación podrían incorporar registros históricos de mayor extensión temporal, evaluar distribuciones probabilísticas adicionales y desarrollar análisis de sensibilidad paramétrica que robustezcan las estimaciones obtenidas.

Los hallazgos de este estudio podrían extenderse a la evaluación de otros alimentadores rurales de la Unidad de Negocio Los Ríos y de otras zonas del país con características similares de dispersión geográfica y crecimiento poblacional, así como a problemáticas relacionadas con la integración de fuentes de energía renovable y el impacto de fenómenos ambientales sobre la frecuencia de fallas en redes de distribución. De mantenerse la tendencia de crecimiento observada entre 2024 y 2025 en el número de usuarios y la capacidad de transformación instalada, la implementación oportuna de las medidas propuestas resultará indispensable para sostener la confiabilidad operativa del sistema en el mediano plazo.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020a). Regulación Nro. ARCERNNR-002/20: Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica. ARCERNNR.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020b). Regulación Nro. ARCERNNR-004/20: Planificación operativa, despacho y operación del sistema eléctrico de potencia. ARCERNNR.
- Ahmed Coronel, A. (2022). Análisis de confiabilidad de un sistema de distribución eléctrico real [Disertación de maestría, Universidade Federal da Integração Latino-Americana]. Repositório Institucional da UNILA.
- Baraniuk, R., Hendricks, S., Johnson, D., & Ambikairajah, E. (2022). 4.3: Convolución de tiempo discreta. En Señales y sistemas. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Se%C3%B1ales_y_Sistemas_\(Baraniuk_et_al.\)/04%3A_An%C3%A1lisis_de_dominio_de_tiempo_de_sistemas_discretos_de_tiempo/4.03%3A_Convoluci%C3%B3n_de_Tiempo_Discreta](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Se%C3%B1ales_y_Sistemas_(Baraniuk_et_al.)/04%3A_An%C3%A1lisis_de_dominio_de_tiempo_de_sistemas_discretos_de_tiempo/4.03%3A_Convoluci%C3%B3n_de_Tiempo_Discreta)
- Fracttal. (2023). Análisis Weibull en la ingeniería de confiabilidad. <https://www.fracttal.com/es/mantenipedia/pasos-para-realizar-el-analisis-weibull>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). IEEE Std 1366-2022: IEEE guide for electric power distribution reliability indices. IEEE.
- MaxGrip. (2025). Reliability metrics 101: Mean time to failure (MTTF). Recuperado el 21 de noviembre de 2025, de <https://www.maxgrip.com/resource/reliability-metrics-101-mean-time-to-failure-mttf/>
- Ministerio de Energía y Minas. (s. f.). Ministerio de Energía y Minas – Ecuador. Recuperado el 22 de junio de 2025, de <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/>
- Moreira Sánchez, C. U., & Mena Vélez, K. W. (2022). Análisis de confiabilidad en el alimentador de distribución San José Sur ubicado en S/E Quevedo Sur, utilizando el método de simulación Montecarlo [Trabajo de titulación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Digital UTEQ.
- Razo Taco, J. L. (2021). Estudio de los índices de confiabilidad TTIK y FMIK de la empresa ELEPCO S.A. en la provincia de Cotopaxi en el año 2020 [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Digital UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7860>
- Rivera Plaza, D. J., & Sisa Sisa, V. A. (2020). Análisis de confiabilidad usando el método de Monte Carlo en los alimentadores principales de la subestación Cristianía perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Digital UTC.
-

- Sanguano Yapo, N. S. (2021). Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación y transmisión considerando fallas de causa común en líneas y el método Monte Carlo [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19728>
- Sisa Sisa, V. A., & Quinatoa Caiza, C. I. (2023). Análisis de confiabilidad usando el método de Monte Carlo en los alimentadores principales de la subestación Cristianía perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito. INGENIO, 6(1), 38–59. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v6i1.4307>
- Torres Estrada, A. F. (2024). Fiabilidad de red de distribución mediante modelo Monte Carlo acoplando micro generación [Trabajo de titulación, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio de Investigación UCACUE. <https://dspace.ucacue.edu.ec/items/f6c7c41a-5e5d-4937-b9e9-64fa1edac8c3>
- Villa Grajales, J. C., & Vernaza Castrillón, V. E. (2020). Análisis de indicadores de confiabilidad para las centrales eléctricas de generación de EPM [Monografía de especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional UdeA.
- Zapata, C. J. (2011). Confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia. Universidad Tecnológica de Pereira
-