



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Implementación de una Metodología de Análisis de Criticidad Basada en Consecuencias Para la Priorización de Activos en ESSA

Julieth Xiomara Caro Silva

Sergio Andrés Macías Pinto

Carrera 19 No. 24 – 56

E.mail: julieth.caro@essa.com.co – sergio.macias@essa.com.co

Bucaramanga, Santander – Colombia

Resumen

En este trabajo se presenta la metodología de criticidad basada en consecuencias implementada en ESSA para priorizar activos y orientar las decisiones de mantenimiento e inversión. Evalúa la consecuencia con cinco objetos de impacto corporativos y la pondera en un valor global. Se aplicó a 293 circuitos y 68 líneas, evidenciando una mayor cobertura de activos en rangos altos frente al enfoque previo, que restringía la priorización al incorporar de forma directa la probabilidad en el cálculo.

Objetivo

Actualizar e implementar en ESSA una metodología de análisis de criticidad basada en la valoración de las consecuencias ante falla, con el fin de fortalecer la priorización de activos y orientar la planeación de mantenimiento e inversión, manteniendo la diferenciación metodológica frente al análisis de riesgo.

Marco conceptual

El presente artículo se desarrolla en el contexto de la Gestión de Activos en redes de distribución y propone un ajuste en la forma de clasificar la criticidad en ESSA. En el enfoque anterior, la criticidad tenía un criterio compuesto, lo que dificultaba su interpretación y la trazabilidad de la priorización. La metodología actualizada separa los componentes del análisis y permite que la criticidad tenga un comportamiento estático y comparable a nivel de portafolio. En este marco, la

criticidad se emplea para orientar la estrategia de gestión de los activos, mientras que el riesgo se utiliza para ajustar la frecuencia de dicha estrategia y la oportunidad de las actividades, según el contexto operativo y la condición del activo.

Definiciones: criticidad y riesgo

En Gestión de Activos, criticidad y riesgo están relacionados, pero no son lo mismo. La criticidad describe la importancia relativa de un activo para el cumplimiento de los objetivos estratégicos organizacionales. En un enfoque basado en consecuencias, la criticidad se expresa principalmente por la consecuencia de falla (CoF), es decir, el impacto que genera la falla del activo sobre los objetos de impacto.

El riesgo incorpora la incertidumbre y se evalúa combinando la probabilidad de falla (PoF) con la consecuencia (CoF), se describe como $R = PoF \times CoF$. La criticidad aporta la dimensión de impacto, mientras que el riesgo integra impacto y probabilidad para estimar la exposición y definir la frecuencia del tratamiento [1].

Enfoque de criticidad basada en consecuencia

La criticidad se establece a partir del CoF evaluado sobre los objetos de impacto definidos por la empresa. El estudio consolida los puntajes por objeto en un CoF global mediante una suma ponderada y asigna niveles de criticidad que permiten ordenar el portafolio y definir activos prioritarios.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Asociación Colombiana
de Ingenieros

Uso de la criticidad para orientar el plan de mantenimiento e inversiones

ESSA utiliza los niveles de criticidad como criterio para orientar el plan de mantenimiento y el plan de inversiones hacia los activos cuya falla tendría mayor impacto sobre los objetivos organizacionales. Esta metodología traduce los niveles de criticidad en reglas de decisión que concentran acciones en los niveles superiores y condicionan los niveles inferiores a disponibilidad de recursos. También se usa para priorizar el cierre de hallazgos identificados durante la ejecución de los planes.

Descripción general del enfoque previo de criticidad

El análisis de criticidad en ESSA se realizaba mediante una evaluación de nivel de riesgo, que combina PoF y CoF. La empresa definía rangos relativos para priorizar activos y representaba el resultado en una matriz de riesgo.

La metodología utilizaba una matriz 5x5 con una escala de probabilidad de cinco niveles: muy baja (1), baja (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). Se utilizaba una escala de consecuencia de cinco niveles: mínima (1), menor (2), moderada (4), mayor (8) y máxima (16). La matriz asignaba un puntaje relativo por la combinación PoF x CoF y generaba valores entre 1 y 80, representados por rangos de color.

Limitaciones identificadas en el enfoque previo

Se genera una confusión conceptual cuando la criticidad incorpora variables de probabilidad de falla. La criticidad deja de representar exclusivamente la CoF y pasa a comportarse como una medida de riesgo. Esta mezcla distorsiona la interpretación de la priorización y debilita la trazabilidad de la decisión, porque un activo puede aparecer como crítico tanto por alta consecuencia

como por alta probabilidad a partir del historial de fallas, sin que el resultado permita identificar con claridad cuál componente domina.

Metodología actualizada de criticidad basada en consecuencia

La metodología actualizada está diseñada para priorizar activos a partir del impacto potencial que tendría su falla sobre los objetos de impacto definidos por la empresa, y su clasificación en niveles comparables para la toma de decisiones.

Principios de diseño de la metodología

La metodología se fundamenta en la valoración de la función principal del activo y su contexto operacional, incluyendo la configuración de red, el entorno, las condiciones de operación y la posibilidad de transferencia.

Definición de objetos de impacto

Para la construcción de la tabla de valoración de consecuencia y la definición de sus criterios, se adoptó como marco de referencia el enfoque corporativo de Gestión Integral de Riesgos del Grupo EPM (GGR001) para definir los objetos de impacto. En consecuencia, el análisis de criticidad utiliza los objetos de impacto definidos corporativamente: Personas, Ambiente, Calidad, Reputación y Financiero.

Escalas de evaluación

En la metodología, la escala de evaluación de la consecuencia se estructura en cinco categorías ordinales que permiten clasificar la severidad del impacto ante la falla de un activo. Estas categorías son: Mínima, Menor, Moderada, Mayor y Máxima, y se representan mediante una escala creciente que asigna valores 1, 2, 4, 8 y 16, respectivamente.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Asociación Colombiana
de Ingenieros

Criterios incorporados para la valoración de la criticidad (consecuencia)

La valoración de la criticidad se soporta en criterios que permiten estimar el efecto potencial que un evento de falla funcional del activo puede generar sobre los cinco objetos de impacto definidos. Una vez definida la función del activo, la valoración se orienta mediante preguntas guía del tipo: ¿Qué impacto tiene la falla del activo?, y se particulariza por objeto de impacto.

I. Personas

Evalúa la afectación potencial sobre la vida, la integridad física y la salud de las personas como consecuencia de la falla funcional de un activo. Bajo el enfoque adoptado, se entiende que la interrupción del suministro puede traducirse en afectaciones en la continuidad del servicio de clientes esenciales o para la atención de condiciones de salud de clientes electrodependientes.

Clientes esenciales

Los clientes esenciales como hospitales, acueductos, aeropuertos, cárceles, e instalaciones militares son usuarios que por la naturaleza de su servicio no deberían experimentar suspensiones del suministro en escenarios de Racionamiento Programado [2].

Clientes electrodependientes

Los Clientes electrodependientes son usuarios que, por razones de salud, requieren energía eléctrica continua para mantener operativos equipos médicos (ejemplo: oxígeno, diálisis u otros dispositivos y/o refrigeración de medicamentos) [3].

II. Ambiente

Este objeto se articula con el modelo de sostenibilidad de ESSA, alineado al marco de reporte de los Estándares GRI 101: Biodiversidad, el cual orienta a identificar dónde es más probable que se produzcan impactos significativos y a gestionar dichos impactos de manera focalizada.

Apoyos dentro de ronda hídrica

Este criterio identifica y cuantifica los apoyos (postes o estructuras) cuya localización se encuentra dentro de la ronda hídrica de un cuerpo de agua, entendida como un área de manejo ambiental especial. La ronda hídrica comprende la faja paralela a la línea de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta (30) metros de ancho, y el área de protección o conservación aferente, para las cuales se establecen directrices de manejo ambiental [4]. Además, la ronda hídrica constituye una determinante ambiental y una norma de jerarquía superior dentro del ordenamiento ambiental. Para cuantificar este criterio se realizó un análisis geoespacial en QGIS, mediante el cruce de capas entre el inventario de apoyos de la empresa y los shapes de fuentes hídricas (Figura 1). Bajo el enfoque adoptado por ESSA, la presencia de infraestructura eléctrica dentro de estas zonas se considera incompatible con el manejo ambiental del área; por ello, al incorporar este criterio en la valoración se busca focalizar acciones preventivas que reduzcan la probabilidad de fallas y, en paralelo, habilitar decisiones de mediano y largo plazo orientadas a la reubicación de infraestructura fuera de la ronda hídrica cuando sea técnica y financieramente viable.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Fig 1. Identificación de apoyos ubicados en ronda hídrica mediante buffer de 30 m e intersección espacial en QGIS

Longitud del activo en zonas ambientalmente sensibles

Este criterio cuantifica la longitud total (en km) del activo que se encuentra dentro de áreas ambientalmente sensibles, con el fin de aproximar la exposición espacial del activo a ecosistemas de alta relevancia y, por lo tanto, el potencial impacto sobre la biodiversidad si llegara a presentarse una falla [5]. La longitud se calcula mediante análisis geoespacial, a partir de la superposición de la geometría del activo con capas de referencia de zonas sensibles. Para ello, en QGIS se tomó el shape de las redes y se cruzó con el shape de las áreas ambientalmente sensibles, obteniendo como resultado la porción de red que intercepta dichas áreas; este resultado se ilustra en la Figura 2. A mayor longitud dentro de estas zonas, mayor se considera la severidad potencial del impacto ambiental.

Las áreas ambientalmente sensibles identificadas para incorporar en la criticidad fueron las Áreas Protegidas Privadas, las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), las Reservas Forestales Protectoras, las zonas de páramo, los Distritos de Manejo Integrado (DMI), los Distritos Regionales de Manejo Integrado (DRMI), los Parques Nacionales Naturales (PNN), y los Parques Naturales Regionales (PNR); a cada una se le asignó un valor diferenciado en función del nivel

de restricción y la sensibilidad del manejo ambiental asociado a su intervención.

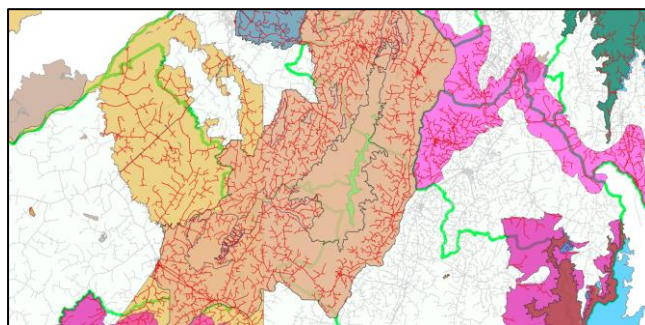


Fig 2. Segmentación de la red dentro y fuera de zonas ambientalmente sensibles mediante cruce de capas en QGIS (rojo: dentro; gris: fuera)

III. Calidad

Evalúa el efecto potencial de la falla de un activo sobre la continuidad y la frecuencia de las interrupciones del servicio, reflejado en los indicadores de calidad media e individual. Para la elaboración de la tabla de consecuencias de Calidad se contemplan variables y criterios que permiten estimar cuántos usuarios podrían verse afectados, cuánto podría tardar el restablecimiento, el grupo de calidad del área y la capacidad del sistema para mitigar la afectación mediante transferencias o respaldos.

Cantidad de clientes

Este criterio cuantifica la cantidad de clientes potencialmente afectados ante la falla funcional del activo. A mayor cantidad de clientes expuestos ante la falla, mayor es la severidad potencial del impacto en continuidad y, por lo tanto, mayor la calificación de consecuencia para este criterio.

Tiempo promedio de restablecimiento

Este criterio estima el tiempo que podría requerirse para restablecer el servicio luego de una falla funcional del activo. A mayor tiempo potencial de restablecimiento, mayor es el impacto esperado



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



sobre los indicadores de continuidad y sería mayor la calificación de consecuencia asignada a este criterio.

Grupo de calidad

Este criterio incorpora el Grupo de calidad como un elemento regulatorio para caracterizar el entorno donde opera el activo de acuerdo con el nivel de ruralidad y el índice de riesgo de falla [6]. Para el análisis de criticidad, el grupo de calidad se utiliza como criterio porque permite diferenciar activos ubicados en zonas con exigencias y desempeño esperados distintos, afectando el impacto potencial sobre los indicadores de calidad individual ante una falla.

Número de suplencias

Este criterio evalúa la capacidad de respaldo o transferencia existente para mitigar el impacto de la falla de un activo, cuantificando el número de puntos de suplencia disponibles mediante los cuales la carga o parte de los clientes afectados podrían ser respaldados desde otra fuente o activo. A mayor número de suplencias, mayor posibilidad de reducir la cantidad de clientes impactados y/o disminuir el tiempo efectivo de interrupción mediante maniobras.

IV. Reputación

Evalúa la afectación potencial a la percepción pública, la confianza y la credibilidad de la empresa que podría generarse ante la falla funcional de un activo, considerando que ciertos eventos de interrupción o deterioro del servicio pueden escalar rápidamente a través de quejas, reclamos, cobertura mediática o requerimientos de autoridades y actores institucionales. En esta metodología, el impacto reputacional se interpreta principalmente en función del tipo de clientes que resultarían afectados y su nivel de visibilidad o influencia, dado que la afectación del servicio

sobre usuarios estratégicos tiende a incrementar la exposición reputacional y la presión externa sobre la operación.

Tipo de clientes

Este criterio valora el potencial impacto reputacional asociado a la falla de un activo según el segmento de clientes que podría resultar afectado, ya que una interrupción del servicio no genera el mismo nivel de visibilidad pública, presión institucional o impacto percibido en todos los tipos de usuarios; por ello, se asignan pesos por categoría para reflejar su capacidad de amplificar la afectación de imagen de la empresa.

Cantidad de grandes clientes

Este criterio cuantifica la presencia de grandes clientes dentro del ámbito de afectación del activo, entendidos como usuarios relevantes y de alta visibilidad que han sido previamente identificados en un listado administrado por el Centro de Control de la empresa. En este listado se incluyen clientes con importancia institucional o social, cuya afectación puede generar mayor exposición pública, incrementar la posibilidad de escalamiento y amplificar el impacto sobre la reputación corporativa.

V. Financiero

Evalúa la afectación económica potencial para la empresa ante la falla funcional de un activo, considerando tanto impacto sobre ingresos, costos y obligaciones asociados a la calidad del servicio. Para la elaboración de la tabla de consecuencias financieras, se contemplan tres fuentes principales: la exposición por ingresos que se dejarían de percibir por el tiempo que dure la falla, la Energía No Suministrada (ENS) como medida del volumen de energía que dejaría de entregarse ante la interrupción, y las sanciones o efectos



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Asociación Colombiana
de Ingenieros

regulatorios derivados del incumplimiento de requisitos de calidad y continuidad.

Valor de facturación

Este criterio cuantifica el valor facturado asociado a los clientes alimentados por cada activo, como una aproximación de la exposición económica por ingresos ante su falla funcional. En consecuencia, a mayor valor facturado por los clientes asociados al activo, mayor es la severidad del impacto financiero.

Energía No Suministrada – ENS

Este criterio cuantifica la ENS asociada a la falla funcional de un activo, entendida como el volumen de energía que dejaría de entregarse a los clientes durante el periodo de interrupción atribuible a dicho evento. Para su valoración se estima la energía interrumpida considerando la demanda atendida por el activo y el tiempo de indisponibilidad, por lo tanto, a mayor ENS asociada al activo, mayor es la severidad del impacto.

Compensaciones por calidad individual

Este criterio cuantifica la exposición financiera asociada a las compensaciones por calidad individual que deben reconocerse a los usuarios cuando la calidad individual percibida no cumple los mínimos garantizados [6].

Resultados y análisis

A partir de la aplicación de las tablas de valoración, se obtuvo para cada activo un valor de consecuencia por objeto de impacto, expresado en la escala definida para consecuencia. Con estos resultados se calculó un valor global de consecuencia (CoF) mediante una suma ponderada de los cinco objetos, usando los siguientes pesos: Personas 10%, Ambiente 5%, Calidad 60%, Reputación 10% y Financiero 15%. En términos

operativos, el CoF global se consolidó como:

$$\text{CoF}_{\text{global}} = 0,10 \cdot \text{CoF}_{\text{Personas}} + 0,05 \cdot \text{CoF}_{\text{Ambiente}} + 0,60 \cdot \text{CoF}_{\text{Calidad}} + 0,10 \cdot \text{CoF}_{\text{Reputación}} + 0,15 \cdot \text{CoF}_{\text{Financiero}},$$

lo que permite comparar activos y priorizar aquellos con mayor impacto potencial.

La asignación de estos porcentajes se considera consistente con el nivel de control que la empresa puede ejercer sobre cada objeto de impacto. En la medida en que un objeto es más gestionable desde la planeación, operación y mantenimiento, se le otorga un mayor peso para orientar la priorización hacia decisiones accionables.

Con el fin de sustentar y validar la coherencia de los pesos definidos, se aplicó el método AHP (Analytic Hierarchy Process), comparando por pares la importancia relativa de los objetos de impacto. Como resultado, se obtuvo un índice de consistencia (CR) igual a 0, lo cual evidencia consistencia en los juicios de comparación y respalda la estructura de ponderaciones utilizada para consolidar la consecuencia global.

Distribución de criticidad y principales hallazgos

La aplicación de la metodología se realizó sobre dos poblaciones independientes: 293 circuitos y 68 líneas, distribuidos en 9 regiones geográficas. En la Figura 3 se representan los resultados para cada grupo de activos. En circuitos, la criticidad se concentró principalmente en el rango MODERADA, con el 59,7%, seguida por MAYOR con el 19,5% y MENOR con el 15,0%. La categoría MÁXIMA agrupó el 5,8%, mientras que no se registraron circuitos en MÍNIMA (0,0%). En líneas, también se observa predominio de la categoría MODERADA con el 47,1%, seguida por MENOR con el 22,1%; sin embargo, destaca una mayor participación de la categoría MÁXIMA, con el 16,2%, además del 10,3% en MAYOR y el 4,4% en MÍNIMA.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

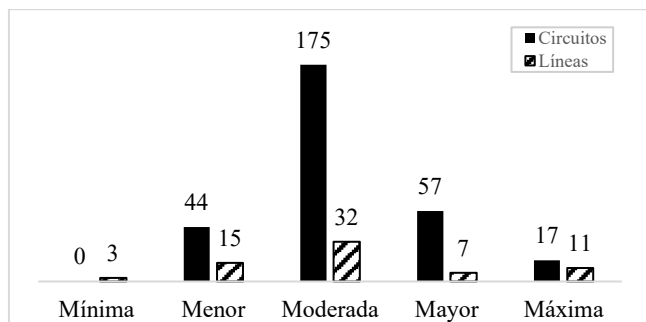


Fig 3. Distribución de criticidad por tipología de activo (circuitos y líneas)

Comparación con la metodología anterior

La comparación muestra que la metodología anterior, al incorporar explícitamente la probabilidad en el cálculo, tendía a restringir la priorización a un grupo muy pequeño de activos en rangos altos, porque solo subían aquellos con recurrencia elevada. En consecuencia, quedaban pocos activos clasificados como críticos: en circuitos, únicamente 5,1% se ubicó en ALTO + MUY ALTO, y en líneas apenas 4,1%. Con la metodología actualizada, al priorizar la consecuencia, se amplía la cobertura de activos que requieren atención: 25,3% de los circuitos y 26,5% de las líneas quedan en rangos altos (MAYOR y MÁXIMA), reduciendo el sesgo hacia la probabilidad de falla y visibilizando activos con impacto potencial significativo (Figura 4).

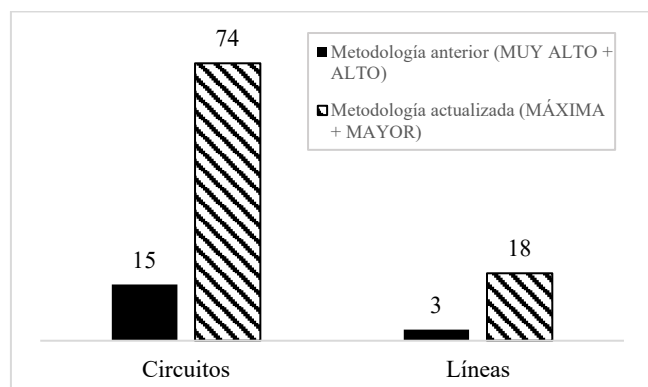


Fig 4. Comparación de cobertura en rangos altos: metodología anterior (ALTO+MUY ALTO) vs. metodología actualizada (MAYOR+MÁXIMA)

Conclusiones

- La metodología actualizada en ESSA diferencia criticidad y riesgo al definir la criticidad como consecuencia de falla y usarla como criterio para seleccionar estrategias de mantenimiento. Por otra parte, se utiliza la probabilidad de falla para ajustar las frecuencias e intervalos de mantenimiento de los activos.
- La estructuración de la consecuencia a partir de los cinco objetos de impacto corporativos y sus criterios facilita una evaluación homogénea y comparable del portafolio de activos, incorporando dimensiones técnicas, regulatorias, ambientales y de relacionamiento con clientes.
- La consolidación del CoF global mediante ponderaciones orienta la priorización hacia impactos que sean gestionables desde la operación y el mantenimiento.
- La aplicación de la metodología de criticidad actualizada a 293 circuitos y 68 líneas de ESSA mostró una concentración predominante en criticidad MODERADA, y evidenció que, aunque la proporción total de activos en rangos altos es similar entre tipologías, las líneas presentan mayor concentración relativa en MÁXIMA, lo que sugiere la necesidad de una gestión más focalizada de esta tipología de activos.
- En comparación con la metodología anterior, la cual restringía los rangos altos a un conjunto reducido (especialmente en líneas), la metodología basada en consecuencia amplía la cobertura de activos que requieren atención, incluyendo aquellos con baja recurrencia histórica, pero con alto impacto potencial.
- La metodología de criticidad actualizada orienta la definición de reglas de decisión por nivel de criticidad para la priorización de estrategias de mantenimiento y planes de inversión, y dirige la atención de hallazgos hacia los activos con mayor consecuencia sobre los objetivos estratégicos de la empresa.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Bibliografía

[1] Global Forum on Maintenance and Asset Management, *The Asset Management Landscape*, 3rd ed., English version. Toronto, ON, Canada: GFMAM, Jun. 2024. ISBN: 978-1-7774676-8-5.

[2] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolución CREG 119 de 1998 (30 dic. 1998),” *Diario Oficial* No. 43.487, ene. 26, 1999.

[3] Honorable Congreso de la Nación Argentina, “Ley 27.351: *Electrodependientes—Beneficio—Registro*,” sancionada abr. 26, 2017, publicada en *Boletín Oficial* No. 33.626, may. 17, 2017.

[4] República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Decreto 2245 de 2017 (29 dic. 2017).”

[5] Global Reporting Initiative (GRI), *GRI 101: Biodiversity 2024*. 2024.

[6] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), “Resolución CREG 15 de 2018 (29 ene. 2018),” *Diario Oficial* No. 50.496, feb. 3, 2018.



Julieth Xiomara Caro Silva es Ingeniera Electricista y Especialista en Gerencia del Mantenimiento y la Confiabilidad. Cuenta con certificaciones como Leader Auditor ISO 55001 y Gestora

del Mantenimiento y Confiabilidad (CGMC). Tiene más de cinco años de experiencia profesional en gestión de activos y confiabilidad, y se ha desempeñado como líder funcional técnico en actividades de gestión de activos, análisis del sistema y mantenimiento de redes de distribución de energía eléctrica.

1. Nombre del autor: Julieth Xiomara Caro Silva
2. Teléfono:
 - a. Residencia: N/A
 - b. Oficina: 01 8000 971 903
 - c. Celular: 3174982195
3. Dirección del autor(es)
 - a. Residencia: Calle 28#22-39
 - b. Oficina: Carrera 19 #24-56
 - c. E. mail: julieth.caro@essa.com.co
 - d. Ciudad: Bucaramana
 - e. País: Colombia



Sergio Andrés Macías Pinto es Ingeniero Electricista y Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, además de Especialista en Gerencia del Mantenimiento y Confiabilidad. Cuenta con la certificación de Gestor del

Mantenimiento y la Confiabilidad (CGMC). Tiene más de ocho años de experiencia en mejoramiento de la calidad del servicio y confiabilidad, y se ha desempeñado como líder funcional técnico en gestión de activos, análisis del sistema y mantenimiento de redes de distribución de energía.

1. Nombre del autor: Sergio Andrés Macías Pinto
2. Teléfono:
 - a. Residencia: N/A
 - b. Oficina: 01 8000 971 903
 - c. Celular: 3133280503
3. Dirección del autor(es)
 - a. Residencia: Calle 42#17-19
 - b. Oficina: Carrera 19 #24-56
 - c. E. mail: sergio.macias@essa.com.co
 - d. Ciudad: Bucaramana
 - e. País: Colombia