

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**ACTUALIZACIÓN DE NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**MAESTRO(A) EN GESTIÓN ENERGÉTICA Y DISEÑO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

SANDY CRISTINA MEJÍA MOZ

GUILLERMO ATILIO GONZÁLEZ PENADO

**ASESOR:**

FRANCISCO ADONAY MOLINA AVILÉS

ANTIGUO CUSCATLÁN, NOVIEMBRE 2023.

## CONTENIDO

ABREVIATURAS .....	1
CAPÍTULO 1.....	2
INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 ALCANCES .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 METODOLOGIA.....	4
CAPITULO 2.....	5
COMPARACION DE INDICADORES EN CENTRO AMERICA Y AMERICA LATINA.....	5
2.1 Comparación de los valores límite de indicadores.....	5
2.1.1 Frecuencia Media de Interrupción por kVA (FMIK).....	6
2.1.2 Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK).....	7
2.1.3 Índice Frecuencia de Interrupción Promedio (SAIFI).....	8
2.1.4 Índice de Duración de Interrupción Promedio (SAIDI) .....	9
2.1.5 Distorsión armónica total (THD).....	10
2.1.6 Flicker .....	11
2.2 Estado de cumplimiento para los indicadores en Centroamérica.....	12
2.2.1 Guatemala .....	12
CAPÍTULO 3.....	18
IMPACTO DE LA GENERACION RENOVABLE NO CONVENCIONAL EN LA CALIDAD DE ENERGIA .....	18
3.1 Generación de armónicos en sistemas solares .....	19
3.2 Instalación de plantas solares en El Salvador .....	19
3.3 Registro de indicadores de calidad en los últimos años.....	20
3.3.1 FMIK .....	20
3.3.2 TTIK.....	27
3.3.3 SAIFI.....	33
3.3.4 SAIDI .....	39
3.4 Cumplimiento de indicadores por Distribuidora .....	45
3.4.1 Distribuidora CAESS.....	45
3.4.2 Distribuidora CLESA.....	45
3.4.3 Distribuidora DEUSEM.....	46

3.4.4 Distribuidora EEO .....	46
3.4.5 Distribuidora DELSUR .....	46
3.4.6 Distribuidora EDESAL.....	46
3.5 Desempeño de las plantas solares en la red de distribución ante fallas y su impacto en las interrupciones .....	47
3.6 Registro de distorsión armónica en El Salvador y su relación con las plantas de generación eólicas y fotovoltaicas .....	48
3.6.1 Distribuidora DELSUR .....	48
3.6.2 Distribuidora CAESS.....	49
3.6.3 Distribuidora CLESA .....	50
3.6.4 Distribuidora DEUSEM.....	52
3.6.5 Distribuidora EDESAL.....	53
CAPITULO 4. TECNICAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGIA .....	55
4.1 Análisis de los resultados obtenidos en la investigación.....	55
4.1.1 Indicadores relacionados con interrupciones .....	55
4.1.2 Indicadores relacionados con la forma de onda .....	57
4.2 Propuesta de actualización de indicadores .....	58
4.2.1 Indicadores relacionados con las interrupciones.....	58
4.2.2 Indicadores relacionados con la distorsión de forma de onda. ....	59
4.3 Técnicas para mejorar los problemas detectados en la investigación.....	59
4.3.1 Smart Grid .....	64
4.3.2 Generación distribuida .....	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones .....	70

## ABREVIATURAS

ASEP	Autoridad Nacional de los Servicios Públicos de Panamá
THD	Total Harmonic Distortion
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
MER	Mercado Eléctrico Regional
ROBCP	Reglamento de operación Basado en Costos de Producción
FMIK	Frecuencia Media de Interrupción de kVA
TTIK	Tiempo total de Interrupción de kVA
SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission

## CAPÍTULO 1.

### INTRODUCCIÓN

La calidad de la energía se ha vuelto un tema importante para la industria, los usuarios de los sistemas eléctricos y para los entes involucrados en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Sin embargo, el concepto de calidad de la energía es aún discutido y posee diferentes formas de citarlo y se convierte en sinónimos como calidad de potencia, calidad de voltaje, calidad de corriente o confiabilidad del suministro. Uniendo los significados de estas referencias puede definirse la calidad de la energía como la medición, análisis y mejora del bus de voltaje para asegurar una señal senoidal a una frecuencia y magnitud establecida. Esta definición incluye a los fenómenos estacionarios y momentáneos. (*Masoum y Fuchs - 2015 - Impact of Poor Power Quality on Reliability, Relay.pdf*, s. f.).

Contar con un servicio de suministro eléctrico de calidad es clave para todos los aspectos de las actividades desarrolladas en la actualidad, recientemente el impacto de la pandemia de COVID-19 forzó a que muchas personas realizaran teletrabajo o “home office” lo cual requiere que se tenga disponible, confiable y dentro de parámetros técnicos aceptables el suministro de energía eléctrica. Este suministro no es solo para el funcionamiento de las computadoras de los trabajadores sino también para todo el soporte IT detrás de la conectividad a internet, sistemas de enlaces de datos, servidores, etc.

En la industria de manufactura, uno de los elementos importantes dentro de la economía salvadoreña, es importante la disponibilidad dentro de parámetros técnicos definidos del suministro eléctrico para cumplir con las ordenes de fabricación de los diferentes productos en los que se trabaja, como producción de papel, dispositivos electrónicos, cemento y textiles.

En el área de servicios públicos es importante la disponibilidad de energía eléctrica en los hospitales para las intervenciones quirúrgicas, los equipos biomédicos de soporte en las Unidades de Cuidados Intensivos, así como en otros sectores como escuelas, aduanas e iluminación de carreteras, etc.

En El Salvador la capacidad instalada de generación eléctrica y su diversificación hace poco probable llegar a un racionamiento, considerando que el impacto económico de un racionamiento es alto entonces el asegurar la calidad de la energía suministrada con los recursos existentes es necesario para cumplir con los objetivos de cada sector ya sea producción o servicios. (*actualizacion-del-plan-indicativo-de-la-expansion-de-la-generacion-diciembre-2014.pdf*, s. f.).

Para establecer los límites de calidad en los sistemas de distribución se utilizan tres grupos según su naturaleza, los cuales son:

- a) La calidad del suministro o servicio técnico prestado, que está relacionado principalmente con las interrupciones del servicio;
- b) La calidad del producto técnico suministrado, que implica los elementos siguientes:
  - i) Niveles de Tensión;
  - ii) Perturbaciones en la onda de voltaje (flicker y tensiones armónicas);

iii) Incidencia del Usuario en la calidad.

c) La calidad del servicio comercial que está relacionado con los elementos siguientes:

i) La Atención al usuario;

ii) Los medios de atención al usuario;

iii) La precisión de los elementos de medición.

El alcance de la presente investigación es definir el estado, cumplimiento y proponer nuevas magnitudes de los límites de los índices relacionados con la calidad del servicio técnico para lo cual se eligen los indicadores relacionados con interrupciones FMIK, TTIK, SAIDI, SAIFI y los relacionados con perturbaciones: distorsión armónica total THD tanto en voltaje como en corriente.

Estos tres grupos son los establecidos en la Normativa vigente. (*Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribucion.pdf*, s. f.)

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 General

Con la presente investigación se propone una actualización de límites de parámetros de calidad de energía en distribución a fin de asegurar la confiabilidad y estabilidad del sistema ante las condiciones de retos técnicos posiblemente introducidos por el incremento de generadores renovables no convencionales, para ello se considera:

### 1.1.2 Específicos

1.1.2.1 Comparar los límites actuales con los de la región Centroamericana y América Latina con el fin de adecuar una propuesta a las condiciones de calidad de energía en el país.

1.1.2.2 Identificar los cambios ocasionados por el ingreso de generación renovable en la calidad de energía con el fin de verificar la influencia de estos en la calidad de energía.

1.1.2.3 Proponer técnicas de mitigación que las distribuidoras deben considerar para cumplir con indicadores de calidad más estrictos que aseguren una mejor calidad de la energía suministrada.

## 1.2 ALCANCES

1.2.1 Se evaluarán los indicadores de calidad del servicio técnico en distribución en los últimos cinco años, periodo en el cual la matriz energética ha experimentado cambios significativos.

1.2.2 Las energías a considerar en la parte de energías renovables no convencionales son: la solar y la eólica; la revisión de los registros de las mediciones que han realizado las distribuidoras sobre los armónicos lo cual define cuales son los horarios que están fuera del límite establecido por la normativa.

1.2.3 Proponer técnicas permitan mejorar índices de confiabilidad (relacionados con las interrupciones) así como reducir las perturbaciones (relacionados con la forma de onda).

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

En El Salvador se ha trabajado en los últimos años en la diversificación de la matriz energética, realizándose inversiones grandes tanto en plantas de generación que participan del mercado mayorista, así como centrales de energías renovables no convencionales que se conectan a la red de distribución del país. Las fuentes de energía renovable no convencionales consideradas son la solar y la eólica. Todas estas modificaciones están en sintonía con la Política Energética El Salvador 2020-2050, por medio de la cual el Estado salvadoreño se compromete a reducir el consumo de combustibles fósiles, usando tecnologías de transición como el gas natural y en su mayoría apoyando la generación por medio de energías renovables que aseguren el suministro de manera sostenible, confiable y eficiente. (Consejo Nacional de Energía, 2020)

Los procesos industriales han incrementado en las últimas décadas el uso de variadores de frecuencia, sistemas de bombeo, ventilación y bandas transportadoras utilizan este tipo de equipo electrónico de manera amplia.

Dado el tiempo transcurrido desde 2014 cuando se dio el establecimiento de los límites en la Normativa para la Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución es importante realizar una verificación de estos en cuanto a cumplimiento como ante las necesidades de los usuarios. El auge de las comunicaciones y servicios por redes de comunicación, así como la introducción de múltiples plantas fotovoltaicas a la red de Distribución son factores que deben tomarse en cuenta para asegurar la confiabilidad del sistema tanto en estado normal como en respuesta ante fallas.

Debido a que la distribución es un monopolio natural, ya que la relación costo beneficio no permite la existencia de múltiples redes de baja tensión para que los clientes pueda elegir una, el tema de la asignación de límites de calidad es complejo y puede declararse que no hay incentivos económicos en lograr y mantener dentro de límites los parámetros de calidad de energía. Es en este punto donde el regulador interviene y establece las normativas que ayudan al cliente a tener mejor calidad de energía que le permita a nivel residencial conservar alimentos, recreación, educación y a nivel industrial ayudar a las empresas a reducir sus costos por fallas y ser más productivos, pero también ayuden a la distribuidora para atraer nuevas inversiones industriales y tener mejor imagen ante todos los clientes. (Weiss et al., 2021)

### 1.4 METODOLOGIA

Por medio de investigación bibliográfica se identifican los conceptos y estándares desarrollados por instituciones de ingeniería y la academia, relacionados con el entorno socioeconómico de los países.

La obtención de los registros de índices de calidad para El Salvador se realizará a través de consultas directas al ente regulador, la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

Por medio de comparación estadística y considerando aspectos como cumplimiento del actual límite, límite más retador en la región así como impacto en tarifa se proponen actualizar los límites que se identifiquen como necesarios para mejorar la calidad de energía en el país.

## CAPITULO 2.

### COMPARACION DE INDICADORES EN CENTRO AMERICA Y AMERICA LATINA

El Salvador es parte del Mercado Eléctrico Regional (MER) de Centro América desde 1996 cuando seis países ratificaron el Tratado Marco del Mercado Eléctrico en la región. Los países componentes del MER son Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

En el MER se constituye un ente regulador denominado Comisión Regional de Interconexión Eléctrica (CRIE) cuya visión es un mercado eléctrico regional armónico, gobernado por reglas ciertas en un marco institucional robusto, capaz de atraer inversiones de escala regional y proveer un abastecimiento eléctrico regional de calidad, confiable, competitivo y sustentable para beneficio de todos los habitantes de América Central.

Este entorno de El Salvador como parte de la región Centroamericana permite buscar sinergias, promover retos mayores para los miembros del MER al mejorar sus regulaciones y normativas individuales que permitan colocar a la región como un atractivo de inversión, así como de bienestar para sus habitantes.

En la tabla 1 se muestran las normas vigentes relacionadas a la calidad de servicio eléctrico, la entidad responsable, así como el año de vigencia de la última versión publicada. Es importante mencionar que las normas van siendo actualizadas en los países en función del desarrollo de nuevas tecnologías de generación de energía, medidores con mayores capacidades, así como el crecimiento de las aplicaciones que utilizan energía eléctrica y la calidad necesaria para el funcionamiento de los equipos utilizados en dichas aplicaciones.

Tabla 1. Normativas sobre calidad de servicio en sistemas de distribución y su año de implementación

País	Norma	Regulador	Año
Panamá	Normas de Calidad del Servicio Técnico	Autoridad Nacional de los Servicios Públicos	2019
Chile	Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución	Comisión Nacional de Energía	2017
Honduras	Norma Técnica de Calidad de Distribución	Comisión Reguladora de Energía Eléctrica	2017
Costa Rica	Supervisión de la Calidad del Suministro Eléctrico en Baja y Media Tensión	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos	2015
El Salvador	Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones	2014
Guatemala	Normas técnicas del Servicio de Distribución	Comisión Nacional de Energía Eléctrica	2010
Nicaragua	Normativa de Calidad de Servicio	Instituto Nicaraguense de Energía	1999

Fuente: Sitios web de las entidades reguladoras del servicio eléctrico en los países.

En El Salvador el regulador es la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), entidad con la que se validaron las normativas y los límites de los indicadores vigentes. (*SIPV No. 149-2022. Resolución.pdf, s. f.*)

#### 2.1 Comparación de los valores límite de indicadores

En Centroamérica cada país define sus propios límites para los indicadores de calidad de energía, esto incluye los límites para indicadores relacionados con la continuidad de servicio como el FMIK, TTIK, SAIDI y SAIFI, flicker así como la máxima distorsión armónica permitida para voltaje y corriente,

THD V y THD I. Siendo estos siete indicadores los elegidos para la investigación y recomendaciones del presente estudio.

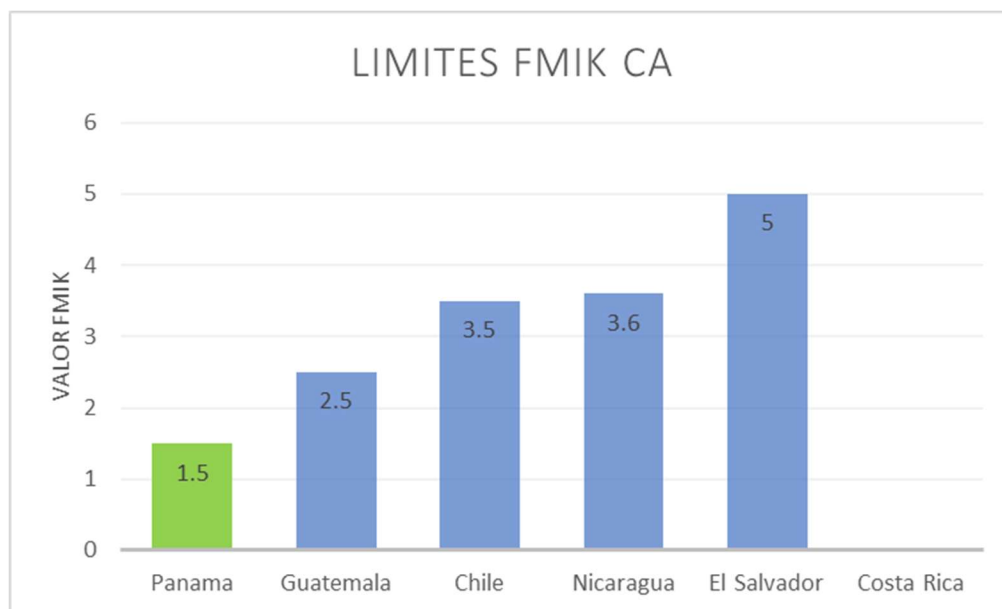
Para el caso de El Salvador, los límites definidos para los indicadores han sido establecidos tomando como referencias normativas de los países como Guatemala, Chile, Panamá y Argentina. (SIPV No. 050-2023. Resolución.pdf, s. f.)

### 2.1.1 Frecuencia Media de Interrupción por kVA (FMIK)

El FMIK es la frecuencia media de interrupción por kVA y representa la cantidad de veces que el kVA promedio de la Empresa Distribuidora sufrió una interrupción de servicio en el período analizado.

Se muestran en la Fig. 1 los valores de límite del indicador (el valor de magnitud menor) de FMIK para los países que tienen declarado dicho indicador, adicionándose Chile como comparativo con un país de Latinoamérica.

En los países de la región hay diferencia entre clientes, para El Salvador existen dos tipos de cliente denominados como alta densidad y baja densidad, mientras que otros países como Guatemala, Panamá y Chile presentan varias categorías como urbano, suburbano, rural disperso, rural muy disperso. En Costa Rica no se encuentra definido un límite en su normativa para el FMIK, el valor más permisivo es el de El Salvador mientras que en Panamá se tiene el valor más retador de límite para el cumplimiento.



Fuente: Normativas de cada país disponibles en los sitios web de los entes reguladores

Figura 1. Límites del indicador FMIK para los países de Centroamérica y Chile

La ecuación para el cálculo del FMIK es la siguiente:

$$FMIK = \frac{\sum_1^N kVA_i^{RED}}{kVA_{TOTAL}^{RED}}$$

Donde:

$\sum_1^N kVA_i^{RED}$  = Sumatoria de los kVA afectados por la interrupción “i” que van desde 1 a la N.

$kVA_{TOTAL}^{RED}$  = Sumatoria de los kVA Totales instalados en transformación y de los usuarios de MT.

### 2.1.2 Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK)

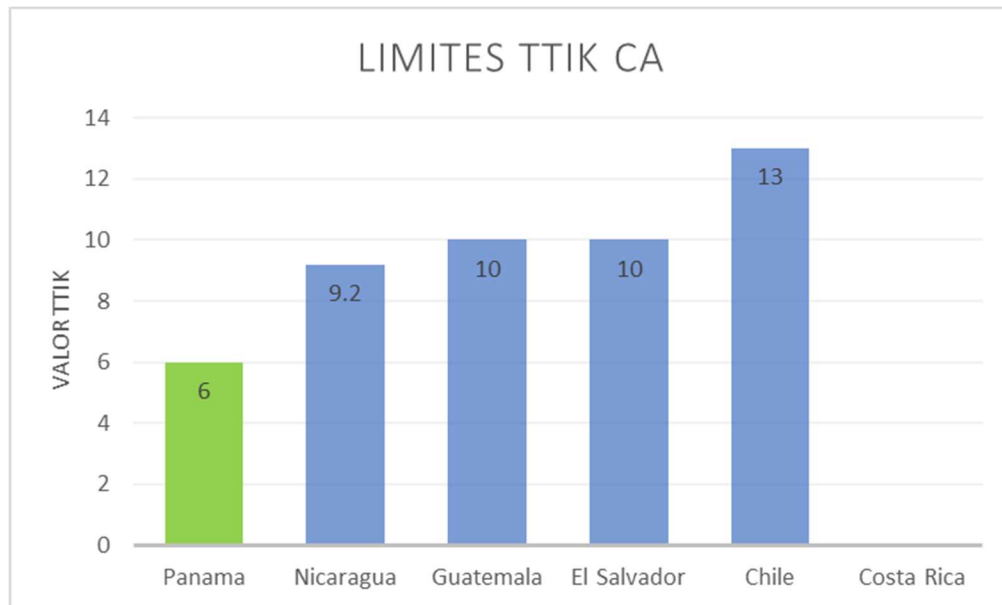
El TTIK representa el tiempo, en valor medio, que cada kVA del conjunto considerado estuvo sin suministro en el año.

Se muestran la Fig. 2 los valores de límite de TTIK más retadores del indicador (el valor de magnitud menor) para los países que tienen declarado dicho indicador.

En Centroamérica Panamá, Nicaragua, Guatemala y El Salvador poseen en sus normativos declarados límites para el indicador TTIK.

En la normativa de Costa Rica no se declara un límite para el TTIK.

Al igual que el FMIK es en Panamá donde se ha definido el valor más retador para este indicador.



Fuente: Normativas de cada país disponibles en los sitios web de los entes reguladores

Figura 2. Límites del indicador TTIK para los países de Centroamérica y Chile

La ecuación para el cálculo del TTIK es la siguiente:

$$TTIK = \frac{\sum_1^N kVA_i^{RED} \times H_{S_i}}{kVA_{TOTAL}^{RED}}$$

Donde:

$\sum_1^N \text{kVA}_i^{\text{RED}} \times \text{Hs}_i$  = Sumatoria de los kVA afectados por la duración (Hs) de la interrupción "i" que van desde 1 a la N.

$\text{kVA}^{\text{RED}}_{\text{TOTAL}}$  = Sumatoria de los kVA Totales instalados en transformación y de los usuarios de MT.

### 2.1.3 Índice Frecuencia de Interrupción Promedio (SAIFI)

El SAIFI es el Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema y está expresado como interrupción/usuarios del sistema/ por año.

El cálculo del SAIFI se encuentra definido en el estándar de la IEEE 1366. (*IEEE guide for electric power distribution reliability indices, 2012*)

Se muestran la Fig. 3 los valores de límite de SAIFI más retadores del indicador (el valor de magnitud menor) para los países que tienen distintos límites de indicador según la clasificación interna de los clientes. El país con un valor más retador, de los listados, es Chile.

El cálculo según la Normativa salvadoreña para el cálculo del SAIFI es:

$$SAIFI = \sum_i^N \frac{Usu_i}{Usu_T}$$

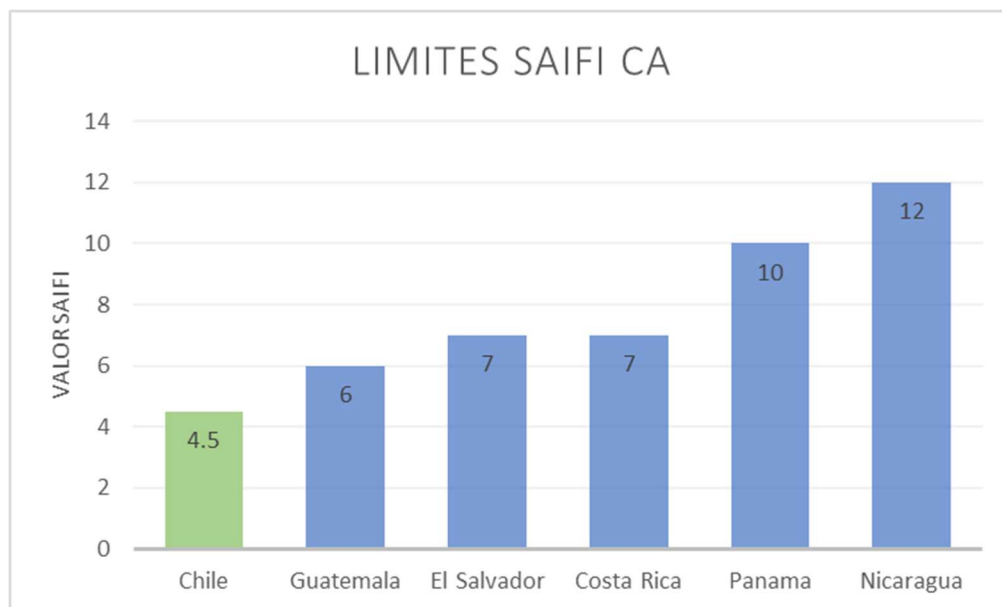
Donde:

N = Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio

i = Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N

Usu<sub>i</sub> = Número de usuarios afectados por la interrupción "i"

Usu<sub>T</sub> = Número de usuarios Totales de la Empresa Distribuidora



Fuente: Normativas de cada país disponibles en los sitios web de los entes reguladores

Figura 3. Límites del indicador SAIFI para los países de Centroamérica y Chile

#### 2.1.4 Índice de Duración de Interrupción Promedio (SAIDI)

El SAIDI es el Índice de Duración de Interrupción Promedio del sistema y está expresado como horas de interrupción/usuarios del sistema/ por año.

El cálculo del SAIDI se encuentra definido en el estándar de la IEEE 1366. (*IEEE guide for electric power distribution reliability indices, 2012*)

$$SAIDI = \frac{\sum Customer\ Interruptions\ Duration}{Total\ number\ of\ customers\ served}$$

Este cálculo ha sido adoptado en la Normativa salvadoreña para el cálculo del SAIDI

$$SAIDI = \sum_i^N \frac{(Dur_i Usu_i)}{Usu_T}$$

Donde:

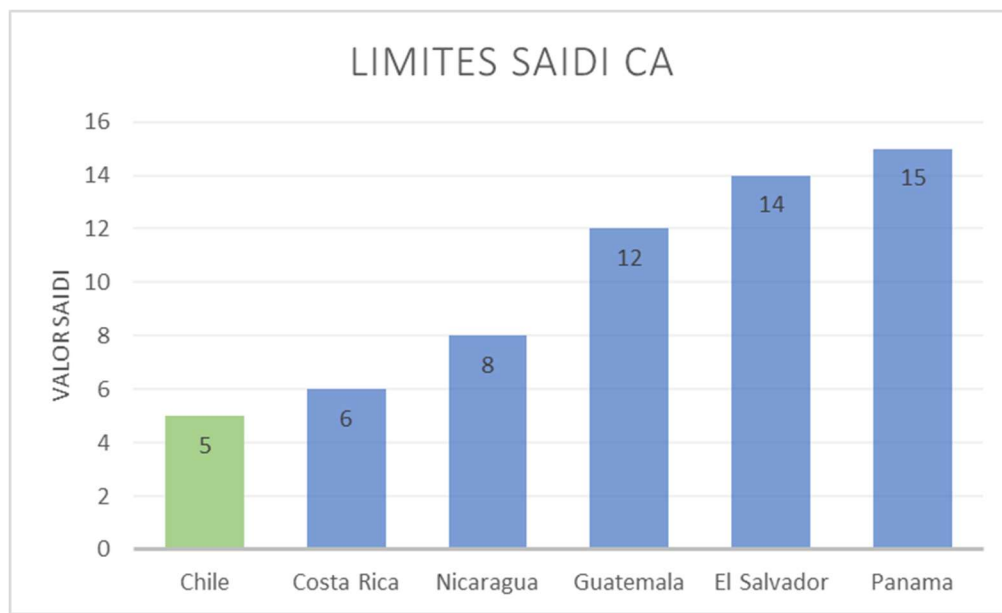
N = Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio

i = Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N

Dur<sub>i</sub> = Duración de la Interrupción "i"

Usu<sub>i</sub> = Usuarios afectados por la interrupción "i"

Usu<sub>T</sub> = usuarios Totales de la Empresa Distribuidora



Fuente: Normativas de cada país disponibles en los sitios web de los entes reguladores

Figura 4. Límites del indicador SAIDI para los países de Centroamérica y Chile

En cada uno de los países mostrados en la tabla 1 existen clasificaciones de los clientes según la región en la que residen o el consumo eléctrico registrado. Se muestran en la Fig. 4 los valores de límite de SAIDI más retadores del indicador (el valor de magnitud menor) para los países que tienen distintos límites de indicador según la clasificación interna de los clientes.

Para El Salvador se listan dos clases de clientes en la normativa: densidad alta de carga y densidad baja de carga. El área de alta densidad es aquella área de densidad de carga que contiene al menos mil habitantes o en donde la demanda de energía eléctrica de los usuarios es al menos 250 kilowatts, y que además se encuentre en una región que aglomere al menos 10 áreas contiguas que bajo los dos parámetros antes indicados puedan ser clasificadas como áreas de densidad de carga alta. El área de densidad de carga baja es aquella área de densidad de carga que no ha sido definida como un área de densidad de carga alta. (*Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribucion.pdf*, s. f.).

En Chile existen clasificación de densidad alta y baja según el consumo eléctrico, en Guatemala, Panamá y Nicaragua es clasificado entre urbano y rural con varias subclasificaciones. No se encuentra identificación de separación de clientes en la normativa de Costa Rica.

De la Fig.4 se define a Chile como el país con un límite de SAIDI de nivel más retador.

### 2.1.5 Distorsión armónica total (THD)

THD. La Distorsión Armónica Total, es la relación de la raíz cuadrada media del contenido armónico, excluyendo inter armónicos y expresado en porcentaje de la fundamental. (*IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, s. f.)

“Los armónicos son voltajes y/o corrientes presentes en un sistema eléctrico en algún múltiplo de la frecuencia fundamental” (*Curso Distorsión Armónica.pdf, s. f.*)

Los armónicos son distorsiones que aparecen afectando la señal senoidal deseada en la línea de potencia.

La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de los dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, por lo que es importante una buena medición y tomar acciones que disminuyan la aparición de estas distorsiones en los sistemas eléctricos. (*Curso Distorsión Armónica.pdf, s. f.*)

Con respecto a los límites relacionados con las perturbaciones en la señal, se muestran en la tabla 2 los valores límites establecidos en las normativas de cada uno de los países que componen el MER

Tabla 2. Límites de indicadores para distorsión armónica en Centroamérica

País	THD V	THD I
Costa Rica	5%	20%
Guatemala	8%	20%
Panamá	8%	20%
El Salvador	8%	20%

Fuente: Elaboración propia con las normativas consultadas en internet para cada país

En Costa Rica se ha considerado como límite para la distorsión total en voltaje el valor recomendado por el estándar IEEE 1457, donde se define la interconexión de generación en distribución con los sistemas de potencia.

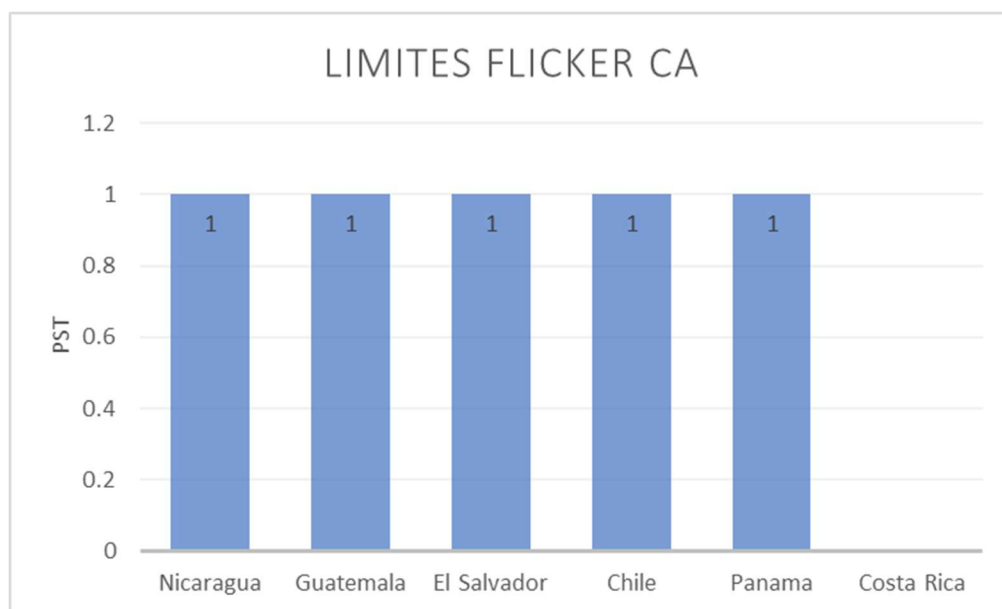
En el resto de los países los límites son los establecidos en el estándar IEEE 519 tanto para el THD de voltaje como el de corriente.

#### 2.1.6 Flicker

Se define como Flicker la sensación de parpadeo del alumbrado debido a las fluctuaciones de tensión entre 0.5 y 25 Hz.

El indicador de efecto de parpadeo (flicker) en el sistema de distribución deberá ser medido por el índice de severidad de efecto parpadeo de corto plazo Pst. Existe la norma IEC 61000-4-16 que indica las especificaciones de la medida.

En la región las normativas tienen definido como límite para el indicador Pst ser menor o igual a uno como se muestra en la Fig.5.



Fuente: Normativas de cada país disponibles en los sitios web de los entes reguladores

Figura 5. Límites del indicador Pst para los países de Centroamérica y Chile.

## 2.2 Estado de cumplimiento para los indicadores en Centroamérica

La región Centroamérica si bien tiene raíces comunes, así como el idioma, comida, costumbres existen condiciones propias de cada país que inciden en sus indicadores de calidad de energía. En la tabla 3 se muestran las variables que permiten poner en contexto las limitantes y retos de cada país considerando su modelo de implementación de políticas públicas, extensión territorial, densidad poblacional, etc.

Tabla 3. Variables generales de los países de la región Centroamericana

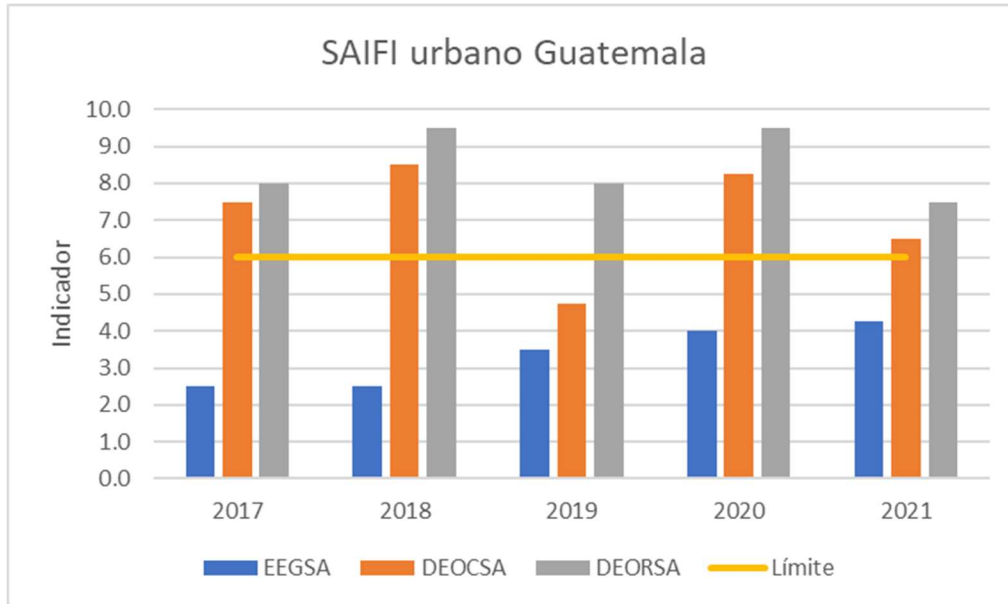
País	Población (millones)	Area de extensión [km2]	Acceso a la electricidad [%]
Chile	19.75	756,623	100
Guatemala	17.11	108,889	97.9
Panamá	4.35	75,517	95.3
Costa Rica	5.15	51,100	100
Nicaragua	6.8	130,373	86.3
Honduras	10.28	112,492	94.1
El Salvador	6.3	21,041	97.9

Fuente: Elaboración propia con datos del sitio web del Banco Mundial

La presentación del cumplimiento se presenta por cada distribuidora y clasificación por área (alta o baja densidad) para El Salvador y como urbano y rural para el resto de Centroamérica.

### 2.2.1 Guatemala

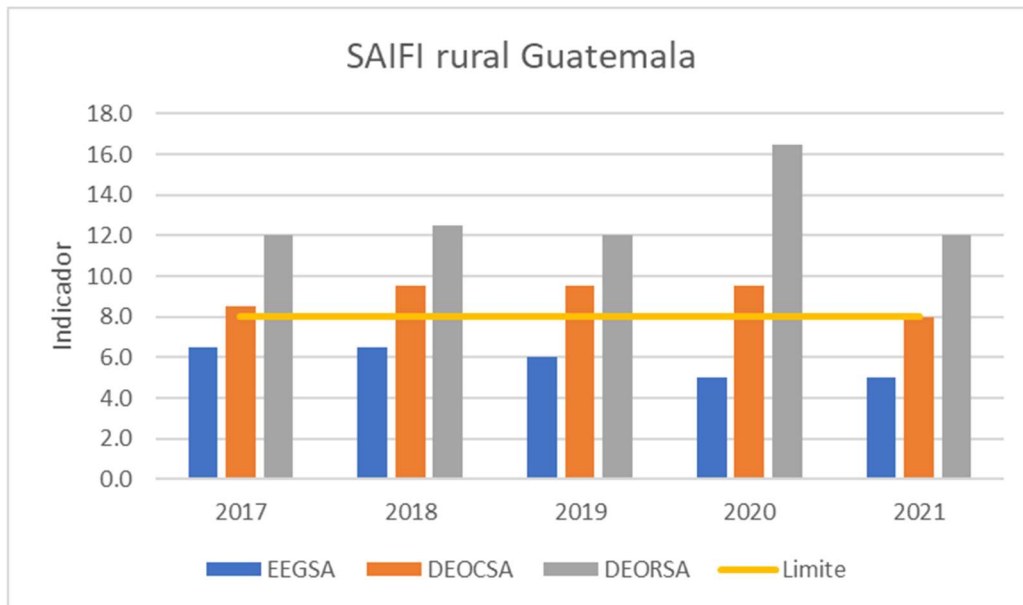
En Guatemala los indicadores se clasifican entre urbano y rural, en la Fig. 6 se muestran los valores de SAIFI en el área urbana para las distintas distribuidoras en los años 2017 a 2021. Se observa que para 2021 solo una distribuidora logró el cumplimiento de tener el indicador de SAIFI urbano debajo del límite.



Fuente: Informe estadístico de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica 2022

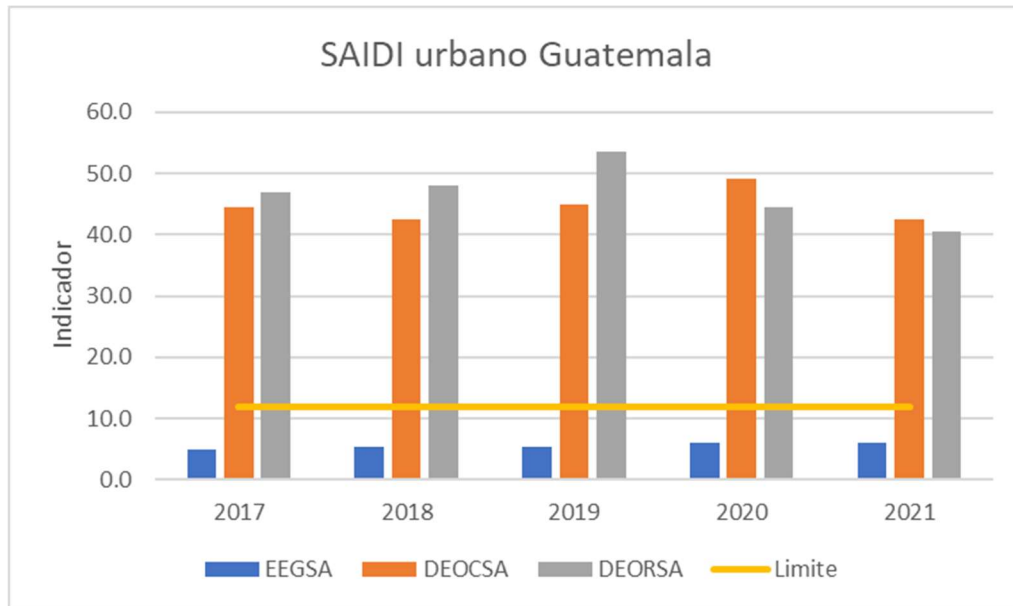
Figura 6. Registro del valor SAIFI en el área urbana en Guatemala.

Para el indicador SAIFI en el área rural de Guatemala se registran valores en excedencia del límite para dos de las distribuidoras representadas en la Fig 7.



Fuente: Informe estadístico de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica 2022

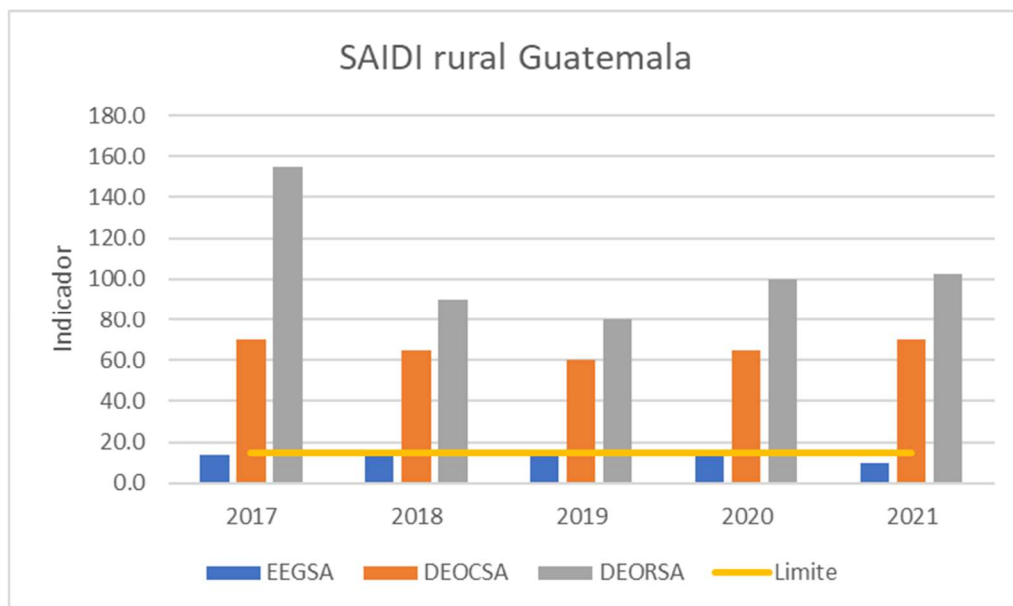
Figura 7. Registro del valor SAIFI en el área rural en Guatemala.



Fuente: Informe estadístico de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica 2022

Figura 8. Registro del valor SAIDI en el área urbana en Guatemala.

Guatemala presenta un registro de valores de SAIDI urbano que exceden el límite de la normativa en dos de tres distribuidoras mostrada en la Fig.8.



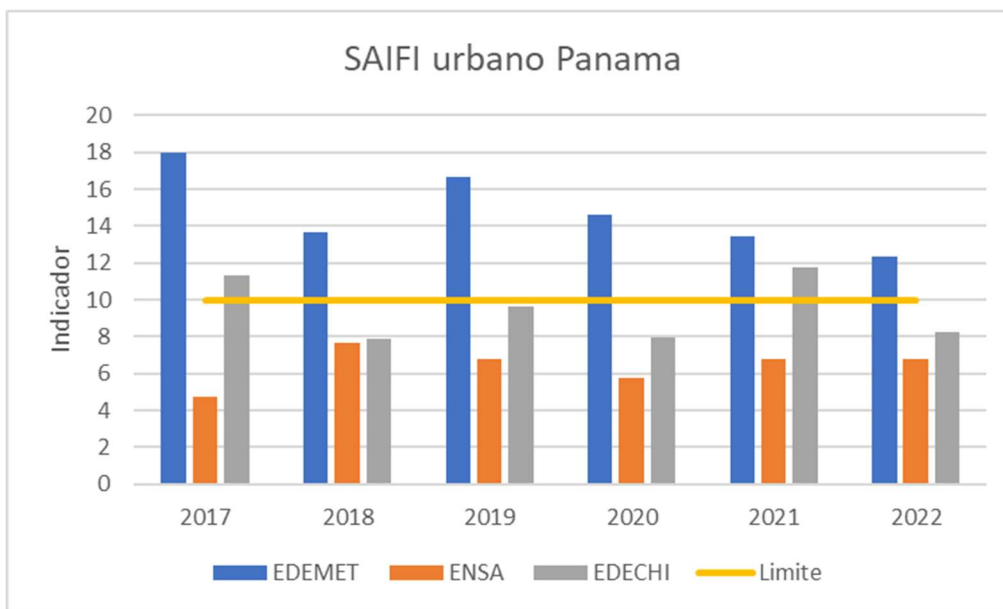
Fuente: Informe estadístico de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica 2022

Figura 9. Registro del valor SAIDI en el área rural en Guatemala.

En la Fig. 9 se muestran los registros del indicador SAIDI para el área rural en Guatemala, en el período de 2017 a 2021.

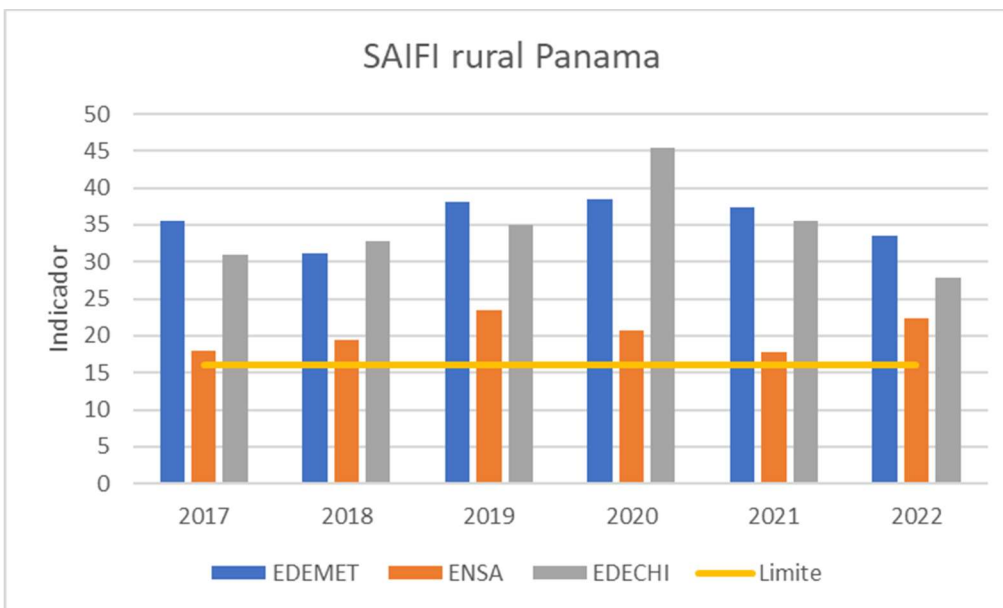
### 2.2.2 Panamá

En Panamá las áreas se dividen en urbanas, suburbanas, rural concentrado, rural disperso y rural muy disperso.



Fuente: Informe de Calidad de Energía de la ASEP

Figura 10. Registro del valor SAIFI en el área urbana de Panamá.



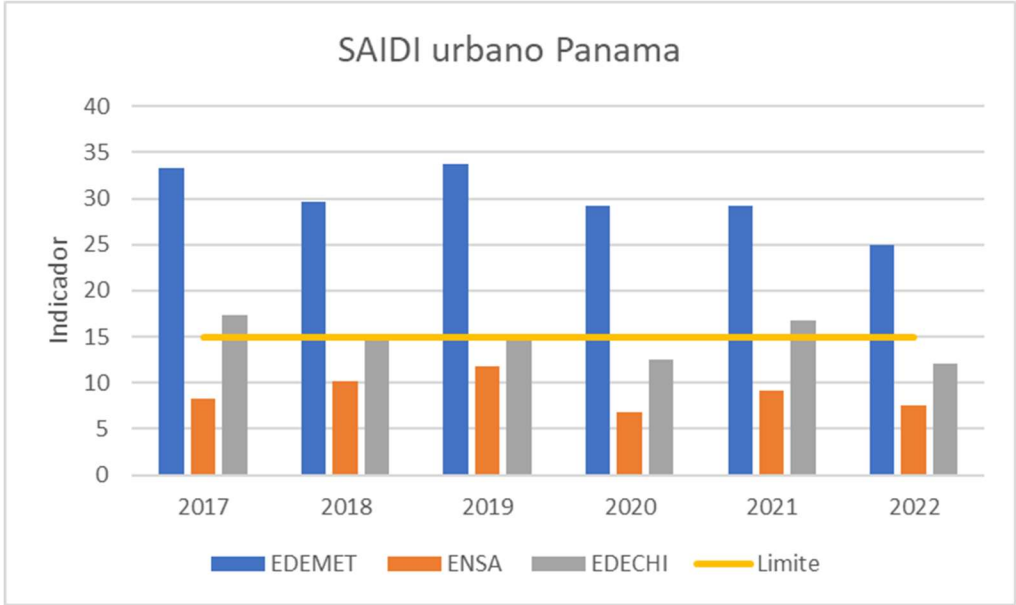
Fuente: Informe de Calidad de Energía de la ASEP

Figura 11. Registro del valor SAIFI en el área rural de Panamá.

En la Fig. 10 se muestran los registros del indicador SAIFI para el área urbana en Panamá, dos distribuidoras se encuentran debajo del límite en la mayoría de los periodos mientras que la otra ha experimentada un decremento en los últimos cuatro años.

Para el caso del SAIFI en el área rural, como muestra la Fig.11 el valor del indicador SAIFI no ha logrado registrarse con menor valor al límite que establece la normativa.

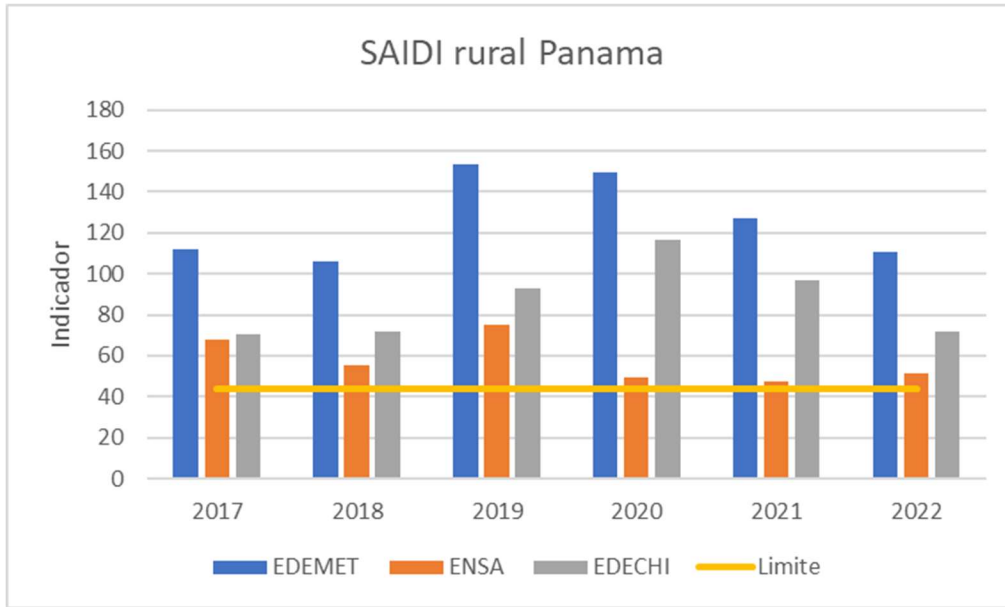
En la Fig. 12 se muestran los valores que el indicador SAIDI registró para los años del 2017 a 2022 donde se evidencia como dos distribuidoras se ha acercado al límite y una de ellas no lo ha logrado para el periodo mostrado.



Fuente: Informe de Calidad de Energía de la ASEP

Figura 12. Registro del valor SAIDI en el área urbana de Panamá.

En el área rural como se muestra en la Fig. 13 se muestra que las distribuidoras no han logrado cumplir el objetivo de registrar un indicador menor al límite.



Fuente: Informe de Calidad de Energía de la ASEP

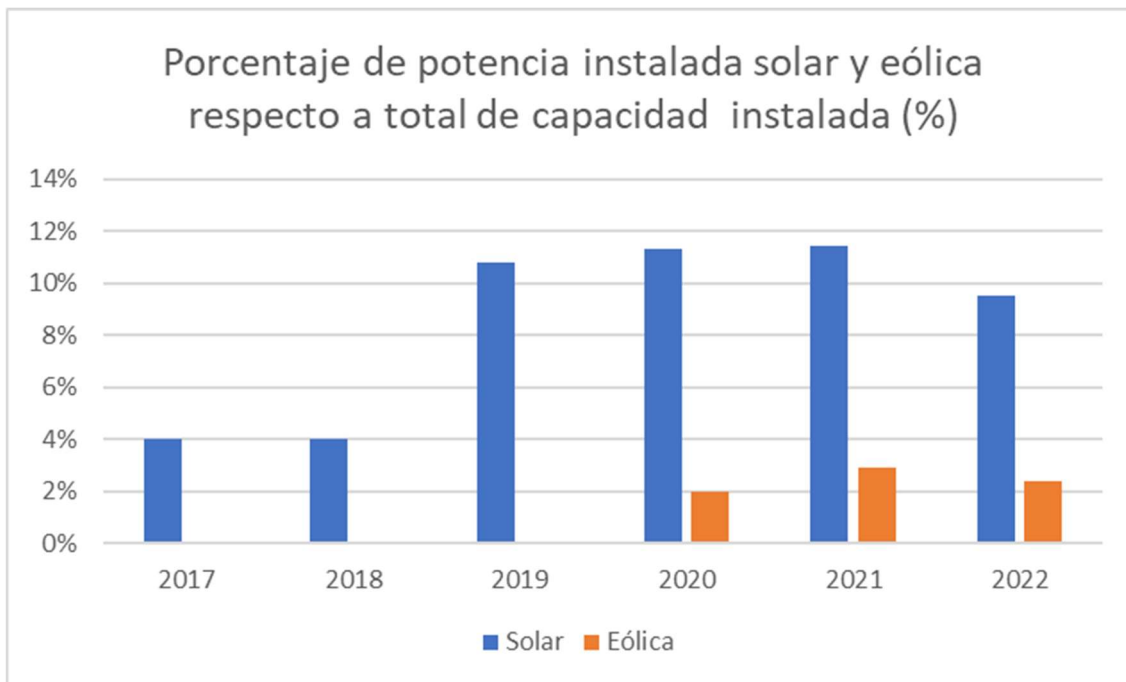
Figura 13. Registro del valor SAIDI en el área rural de Panamá.

### CAPÍTULO 3.

#### IMPACTO DE LA GENERACION RENOVABLE NO CONVENCIONAL EN LA CALIDAD DE ENERGIA

Las fuentes de energías renovables tales como la solar y el eólica se están introduciendo como respuesta a la necesidad de descarbonización del planeta, así como el agotamiento de otros recursos. En el sector de la energía renovable se ha incrementado la participación de las plantas de generación por medio de sistemas solares y eólicos los cuales presentan una tendencia importante de crecimiento en las últimas dos décadas en el mundo y en El Salvador en los últimos 5 años como se muestra en la Fig.14.

El aumento de plantas solares ha incrementado el uso de dispositivos electrónicos de potencia tales como los convertidores de DC/AC. Estos dispositivos de electrónica de potencia son conocidos como inversores. Los inversores son principalmente utilizados para convertir la corriente directa en corriente alterna y actúan como interfaz entre la fuente de energía renovable y la red. Esta tecnología basada en inversores y varias cargas no lineales inyectan armónicos al sistema.



Fuente: Elaboración propia con datos de reportes anuales de la Unidad de Transacciones

Figura 14. Porcentaje de potencia instalada para recursos solar y eólico 2017 a 2022

En El Salvador se ha trabajado en los últimos años en la diversificación de la matriz energética, realizándose inversiones grandes tanto en plantas de generación que participan del mercado mayorista, así como centrales mayormente de energías renovables no convencionales que se conectan a la red de distribución del país. Todas estas modificaciones están en sintonía con la Política Energética El Salvador 2020-2050, por medio de la cual el Estado salvadoreño se compromete a

reducir el consumo de combustibles fósiles, usando tecnologías de transición como el gas natural y en su mayoría apoyando la generación por medio de energías renovables que aseguren el suministro de manera sostenible, confiable y eficiente. (Consejo Nacional de Energía, 2020)<sup>1</sup>

### 3.1 Generación de armónicos en sistemas solares

Un elemento primordial en los sistemas solares es el inversor, el cual es un dispositivo que puede transformar la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia dados. Los inversores de los sistemas solares usan dispositivos semiconductores para transformar la corriente DC en AC por medio de la conmutación usando la Modulación por Ancho de Pulso (PWM) por sus siglas en inglés.

La modulación por ancho de pulso o PWM, es el proceso de modificar el ancho de los pulsos en un tren de estos en proporción directa a una pequeña señal de control; a más grande es el voltaje de control, lo más ancho que se vuelven los pulsos resultantes. La PWM controla el estado de conmutación de los semiconductores (como los IGBTs) que se encuentran alimentados por una fuente de potencia DC y es el principio fundamental para sintetizar una corriente AC.

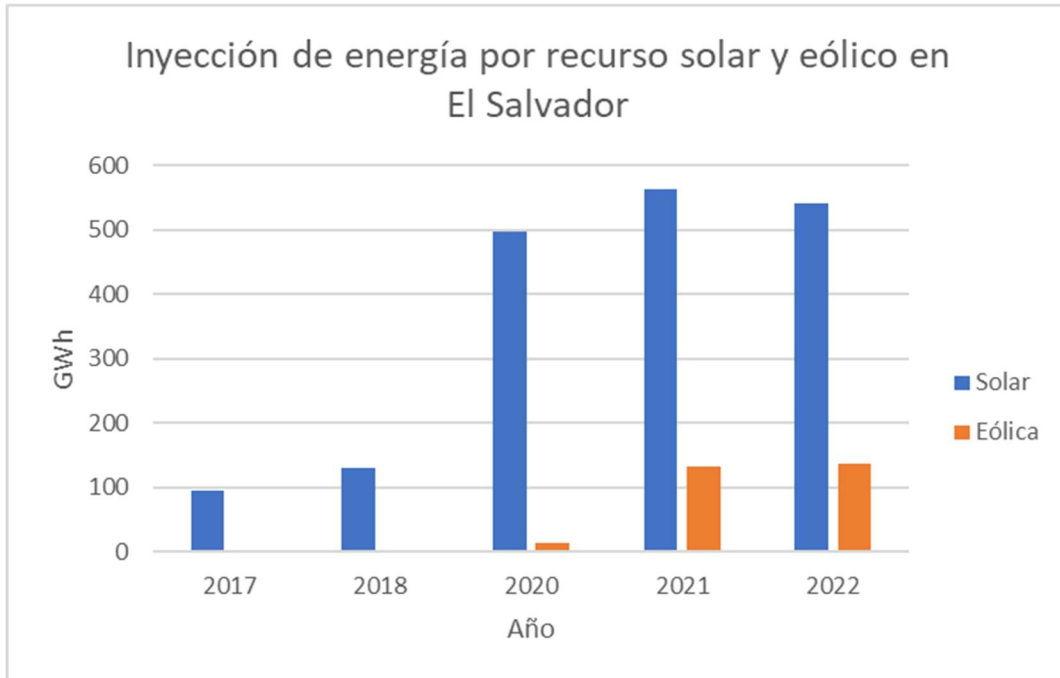
Las corrientes armónicas generadas por las plantas solares o eólicas dependen del tipo de convertidor utilizado y su estrategia de control. La salida de corriente se encuentra relacionada con los armónicos de voltaje en el punto de entrega, lo cual depende de la contribución de todos los generadores y cargas conectadas a la red.

### 3.2 Instalación de plantas solares en El Salvador

En la figura 15 se muestra la energía inyectada al sistema eléctrico con fuentes de energía solar y eólica desde 2017 en El Salvador. Las plantas solares se han convertido en importantes inyectores de energía para la demanda del país, representando más del 10% de la capacidad instalada de generación. Es importante establecer que el recurso solar se cuenta disponible en horarios definidos del día y es en ese período que se aprovecha la generación con ese recurso.

---

<sup>1</sup> El Consejo Nacional de Energía CNE finalizó funciones con ese nombre en 2022 siendo absorbidas sus funciones por la Dirección General de Energía Hidrocarburos y Minas. La referencia del documento de 2020 es debido a que fue publicado por el CNE



Fuente: Elaboración propia con datos de reportes anuales de la Unidad de Transacciones

Figura 15. Inyección de energía por recursos solar y eólico 2017 a 2022

A partir de 2020 una planta eólica también se ha puesto en marcha y se encuentra conectada al sistema eléctrico nacional.

La figura 14 refleja el porcentaje respecto al total de capacidad instalada en el país que las plantas de generación solar y eólicas han logrado para cada año desde 2017. El porcentaje disminuye a partir de 2022 debido a la introducción al parque de generación del país de la planta de gas natural de Energía del Pacífico la cual tiene una capacidad instalada de 380 MW.

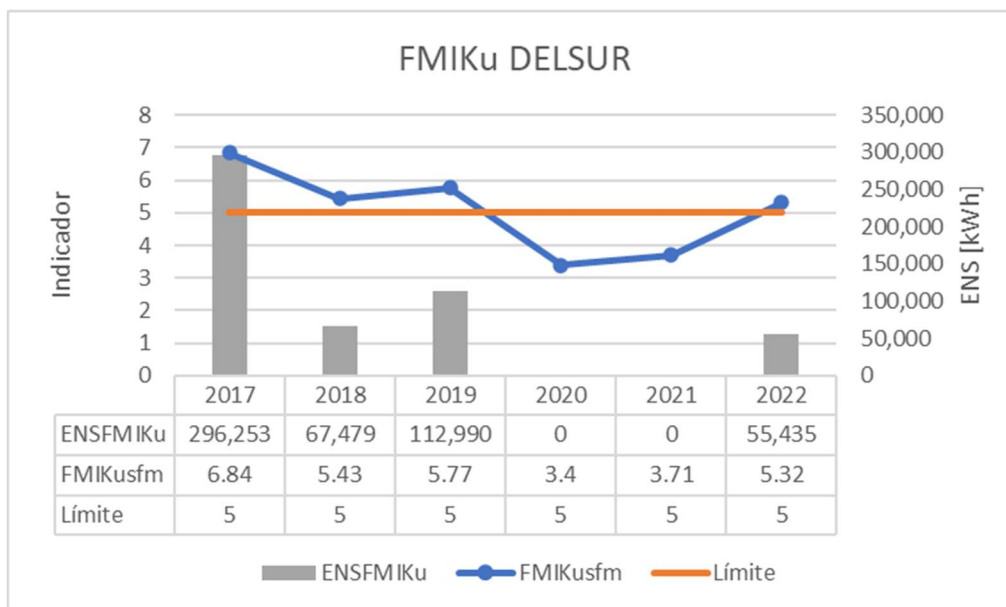
### 3.3 Registro de indicadores de calidad en los últimos años

A fin de verificar la posible existencia de relación entre los indicadores de calidad técnicos y el aumento de generación eléctrica con plantas fotovoltaicas y eólicas, así como para evidenciar con los registros oficiales la tendencia de cada uno de los indicadores, se presentan los registros de las distribuidoras para los últimos seis años.

#### 3.3.1 FMIK

Se analizan los registros de los indicadores en El Salvador para los últimos seis años.

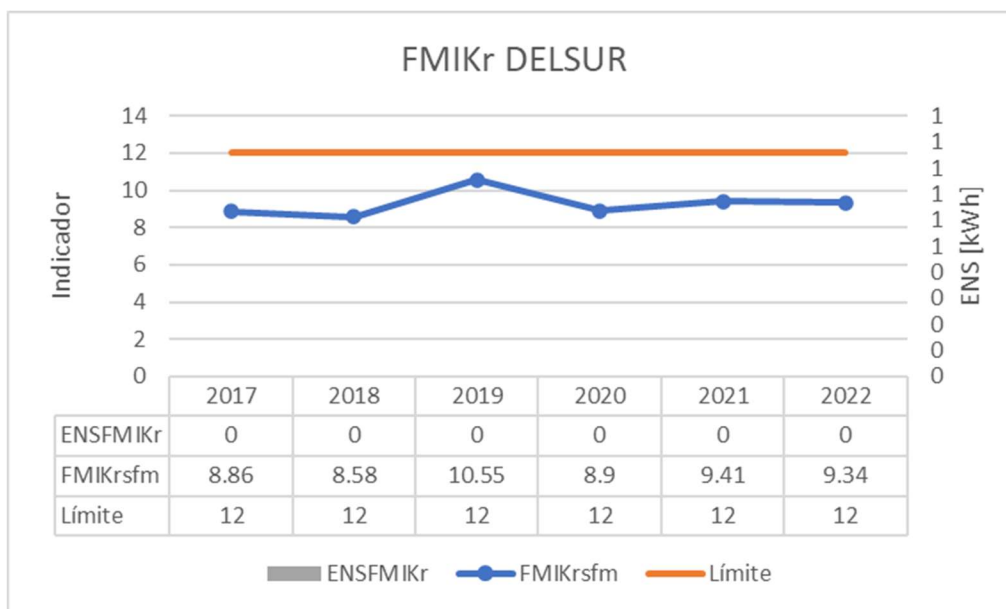
Para la distribuidora DELSUR se observa en la Fig.16 que el indicador FMIK para alta densidad se mantuvo debajo del límite en los años 2020 y 2021, registrándose un leve incremento en 2022. Solo en los años donde no se cumplió con el límite existe un valor de Energía No Servida (ENS).



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 16. Registro de FMIKu para DELSUR 2017 a 2022

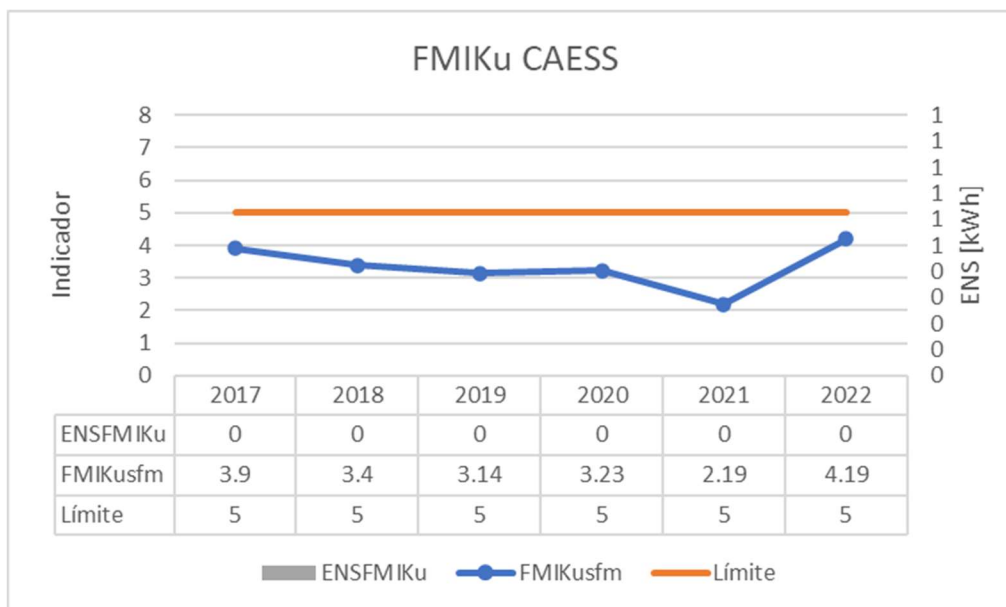
En la Fig.17 se muestran los valores de FMIK para baja densidad de la distribidora DELSUR, queda en evidencia el cumplimiento del límite actual para FMIK de baja densidad en esta distribidora.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 17. Registro de FMIKr para DELSUR 2017 a 2022

Para la distribidora CAESS en el período de 2017 a 2022 se observa, según lo muestra la Fig.18 que el indicador FMIKu se mantuvo debajo del límite para el caso del sector de alta densidad.

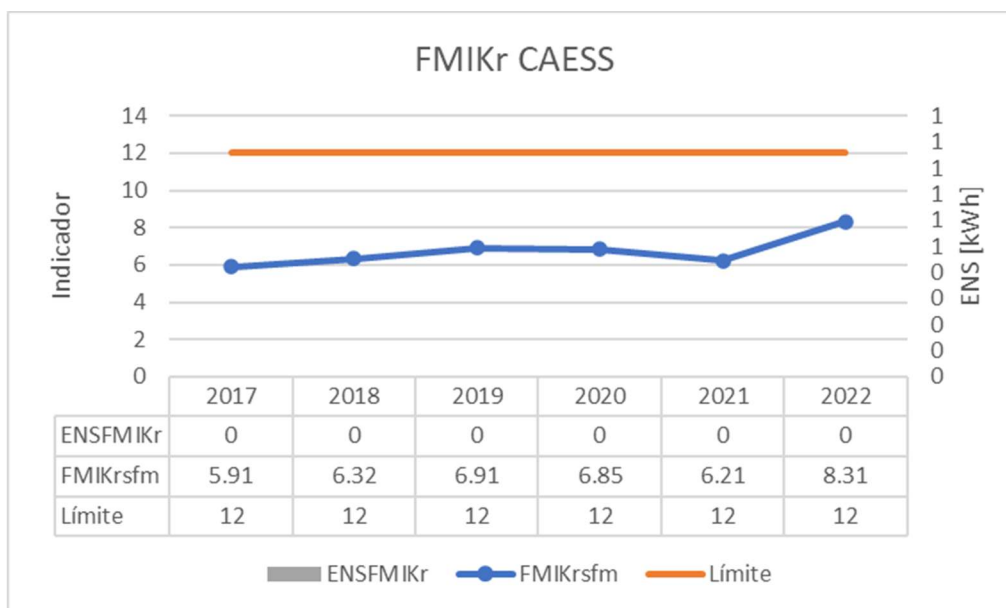


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 18. Registro de FMIKu para CAESS 2017 a 2022

Para el caso del sector con baja densidad, en la Fig. 19 se observa que se mantuvo abajo del límite establecido para el indicador.

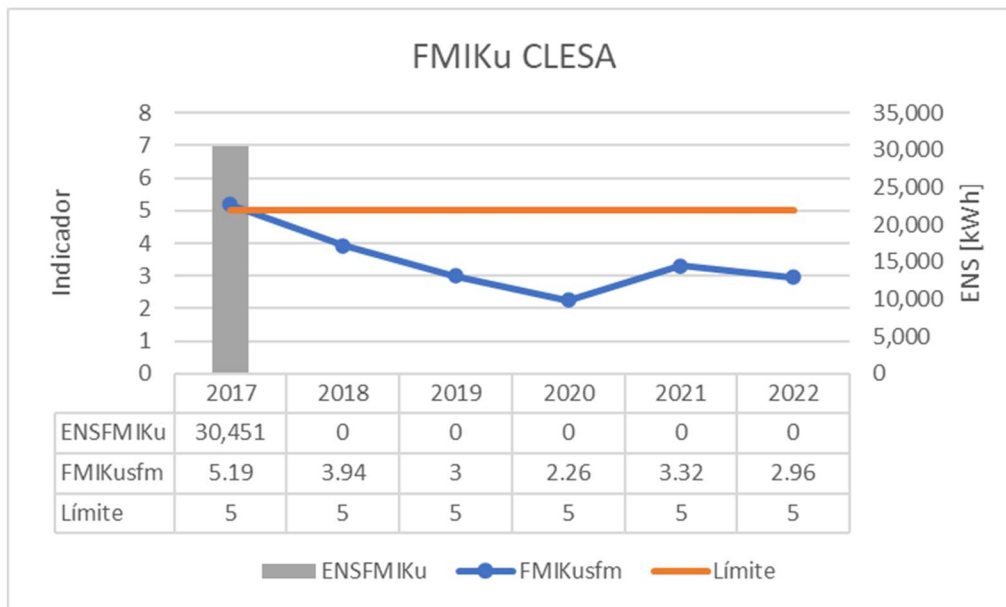
En el área de baja densidad el indicador FMIK así como su tendencia se muestra en la Fig. 19, al no tener excedencias no aplica el cálculo de ENS por este motivo.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 19. Registro de FMIKr para CAESS 2017 a 2022

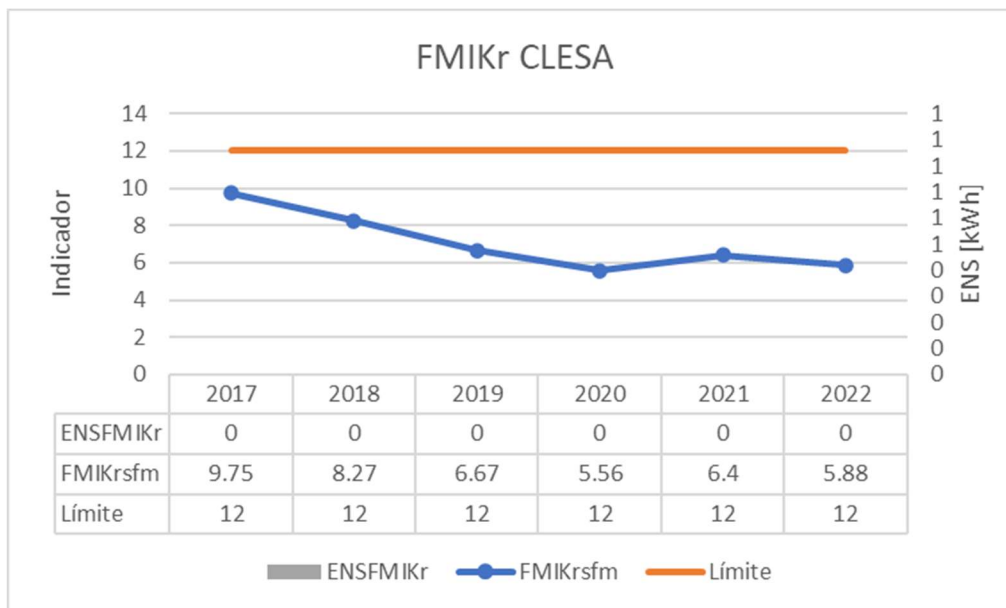
Para la distribuidora CLESA, según el registro mostrado en la Fig.20 se evidencia que el límite fue excedido en 2017 por lo que existió una ENS relacionada, y desde entonces se ha cumplido con el límite. Esto para el área de alta densidad.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

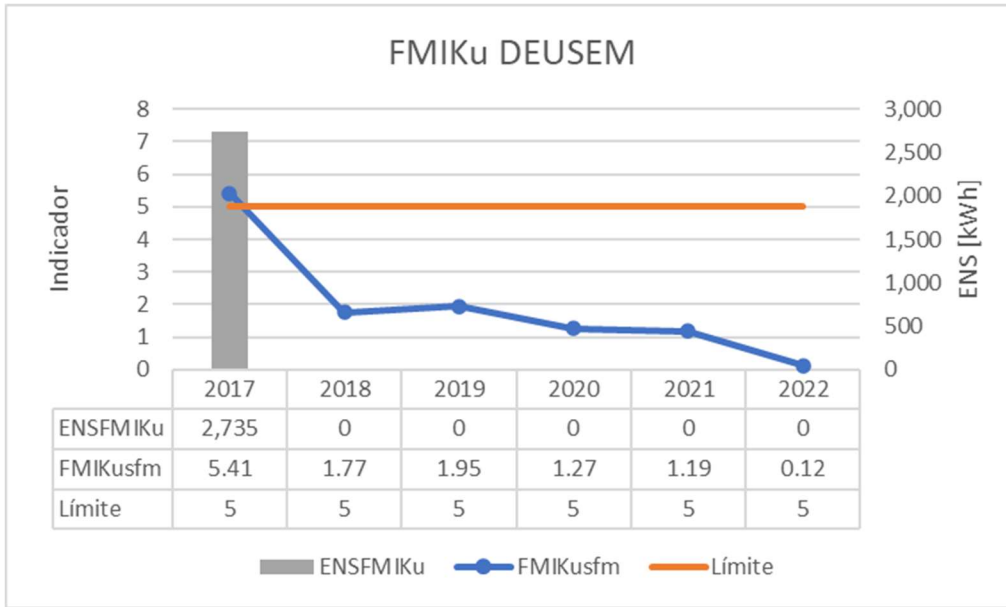
Figura 20. Registro de FMIKu para CLESA 2017 a 2022

En la Fig. 21 y para el área de baja densidad en la distribuidora CLESA, se observa que se ha cumplido durante todos los años con el límite del indicador, con una tendencia marcada a la baja.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

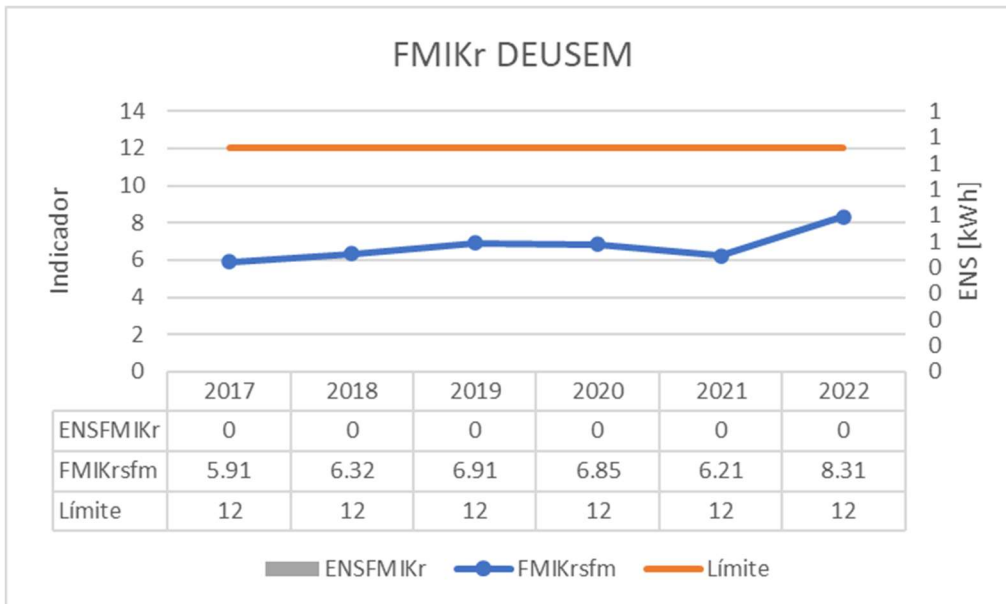
Figura 21. Registro de FMIKr para CLESA 2017 a 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 22. Registro de FMIKu para DEUSEM 2017 a 2022

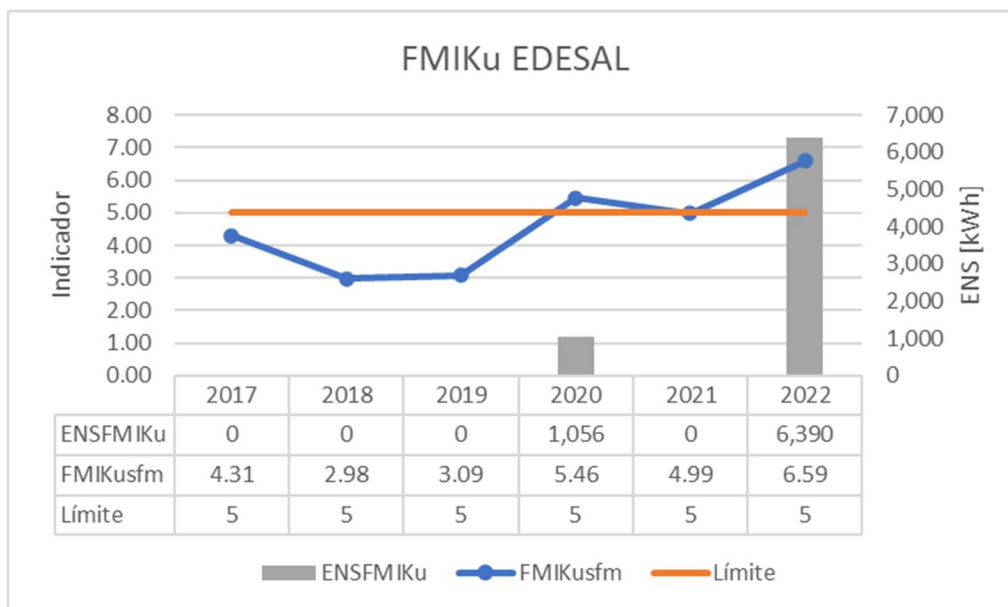
En la Fig.22 se muestran los registros para el indicador FMIKu de la distribuidora DEUSEM, en el cual se identifica que en 2017 se excedió el límite por lo que se definió una ENS, sin embargo, a partir de ese año la tendencia es la baja.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 23. Registro de FMIKr para DEUSEM 2017 a 2022

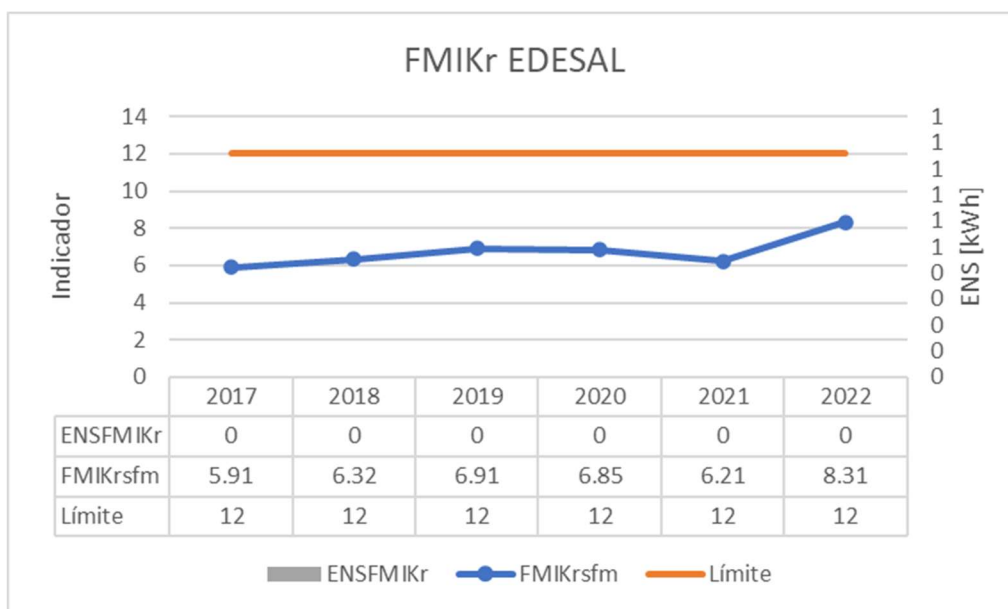
En la Fig.23 se registran los valores del indicador FMIK para baja densidad de la distribuidora DEUSEM, encontrándose debajo del límite con un leve incremento en 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 24. Registro de FMIKu para EDESAL 2017 a 2022

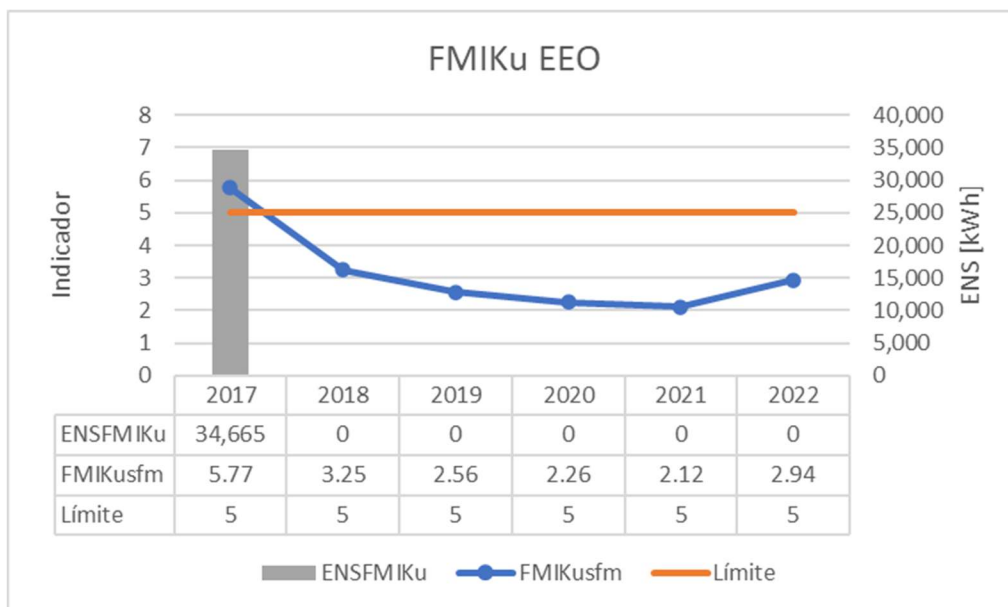
En la Fig.24 se registran los valores del indicador FMIK para el sector de alta densidad de la distribuidora EDESAL, en la cual se evidencia excedencia de los límites en los años 2020 y 2022.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 25. Registro de FMIKr para EDESAL 2017 a 2022

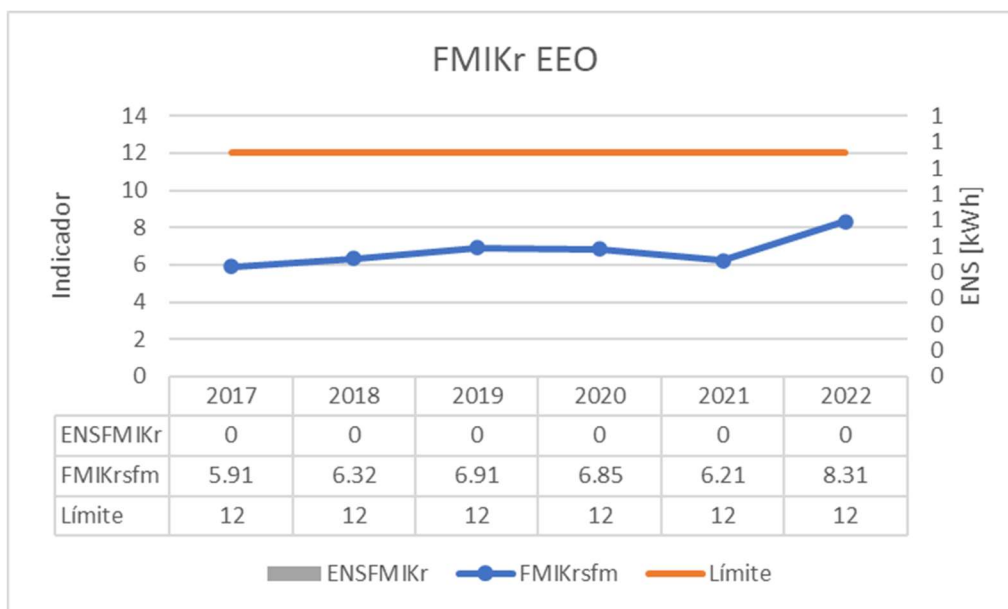
Para el caso del indicador FMIK en el área de baja densidad de la distribuidora EDESAL, los valores registrados se encuentran en cumplimiento.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 26. Registro de FMIKu para EEO 2017 a 2022

En la distribuidora EEO se registra, según se observa en la Fig.26, que el indicador FMIK para el sector de alta densidad se ha mantenido debajo del límite desde 2018.



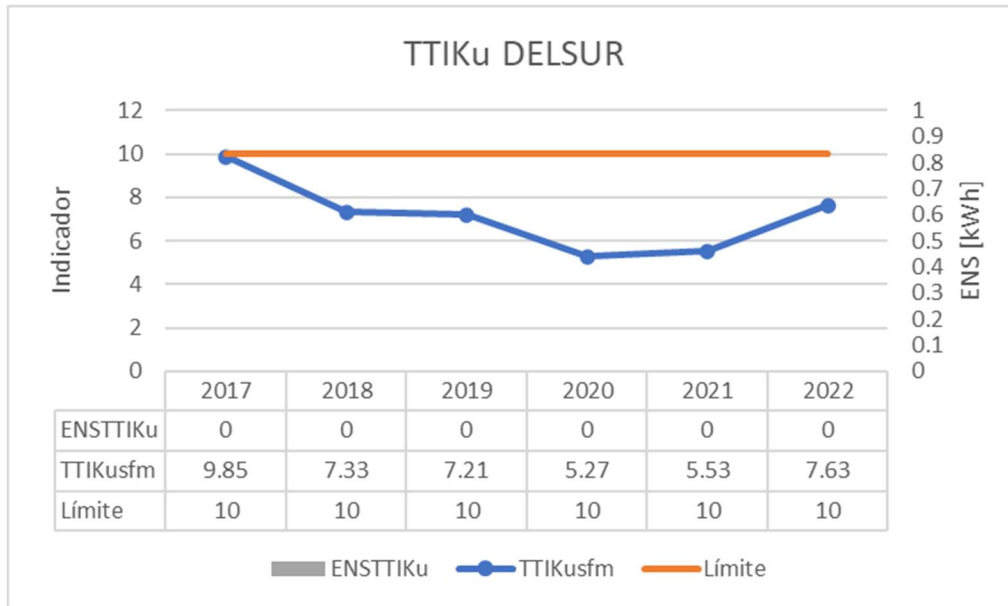
Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 27. Registro de FMIKr para EEO 2017 a 2022

En la Fig.27 se observa que el indicador FMIK para el sector de baja densidad en la distribuidora EEO se encuentra debajo del límite establecido.

### 3.3.2 TTIK

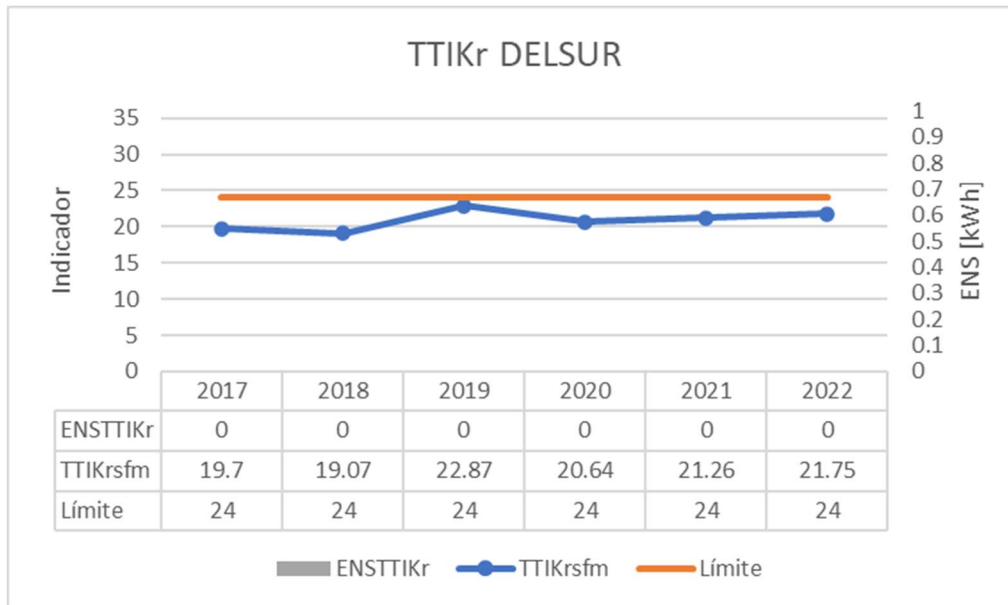
En la Fig. 28 se muestra el registro del indicador TTIK para el sector de alta densidad en los años 2017 a 2022, evidenciándose un cumplimiento para todos los años.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

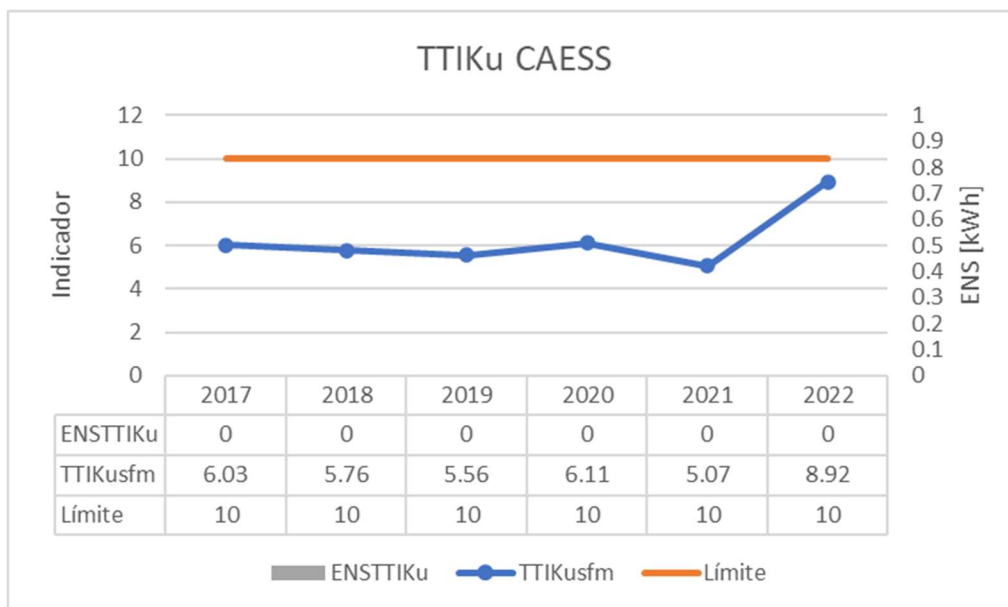
Figura 28. Registro de TTIKu para DELSUR 2017 a 2022

Para el área de baja densidad en la distribuidora DELSUR se evidencia que los registros del indicador TTIK se encuentran dentro del límite establecido como se muestra en el Fig. 29.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 29. Registro de TTIKr para DELSUR 2017 a 2022

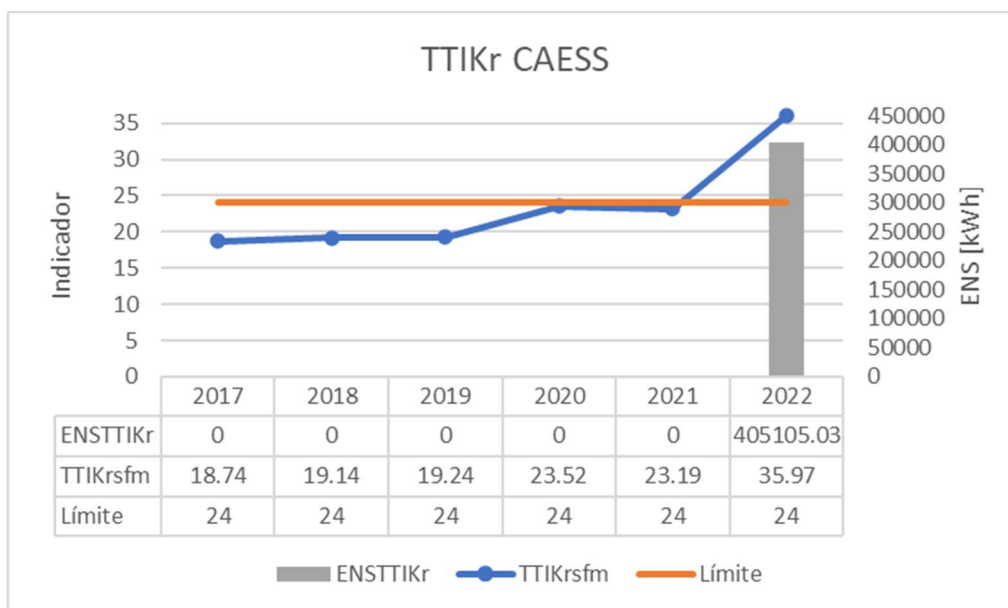


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 30. Registro de TTIKu para CAESS 2017 a 2022

En la distribuidora CAESS para el periodo de 2017 a 2022 los registros muestran valores de indicadores TTIK para alta densidad debajo del límite establecido, como se observa en la Fig.30.

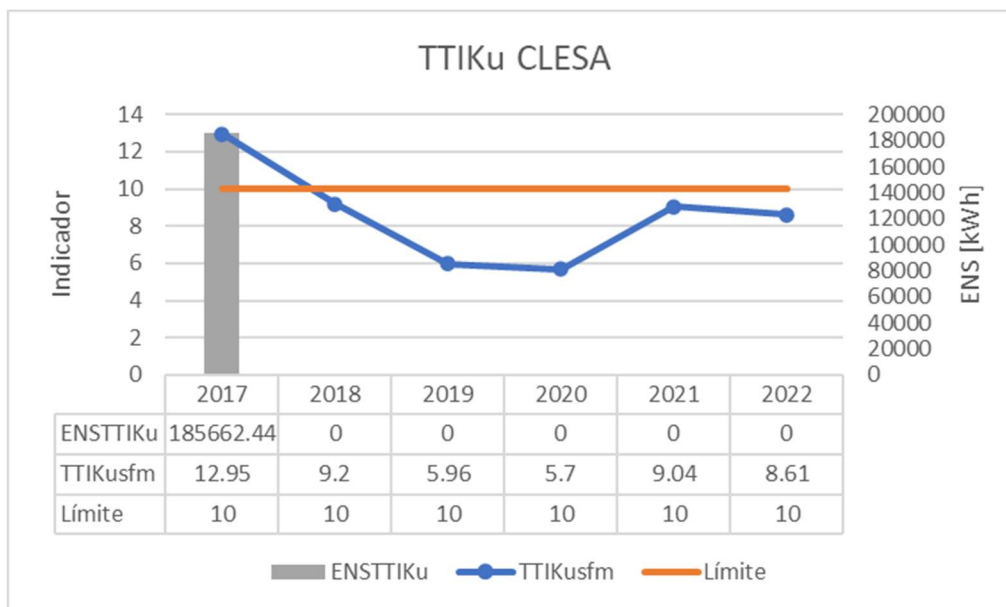
Para el caso del indicador TTIK en el área de baja densidad para la distribuidora CAESS se registra que en año 2022 se excedió el límite y, por lo tanto, como muestra la Fig.31 se definió una ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 31. Registro de TTIKr para CAESS 2017 a 2022

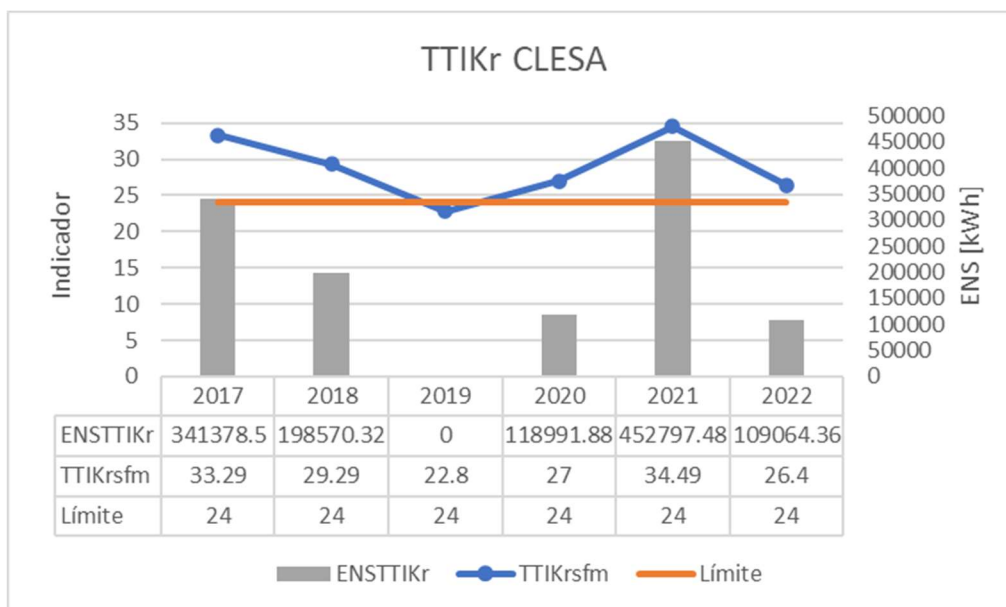
En la Fig. 32 se muestra el registro del indicador TTIK para la distribuidora CLESA en el periodo de 2017 a 2022, solo en el año 2017 se excedió el límite.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

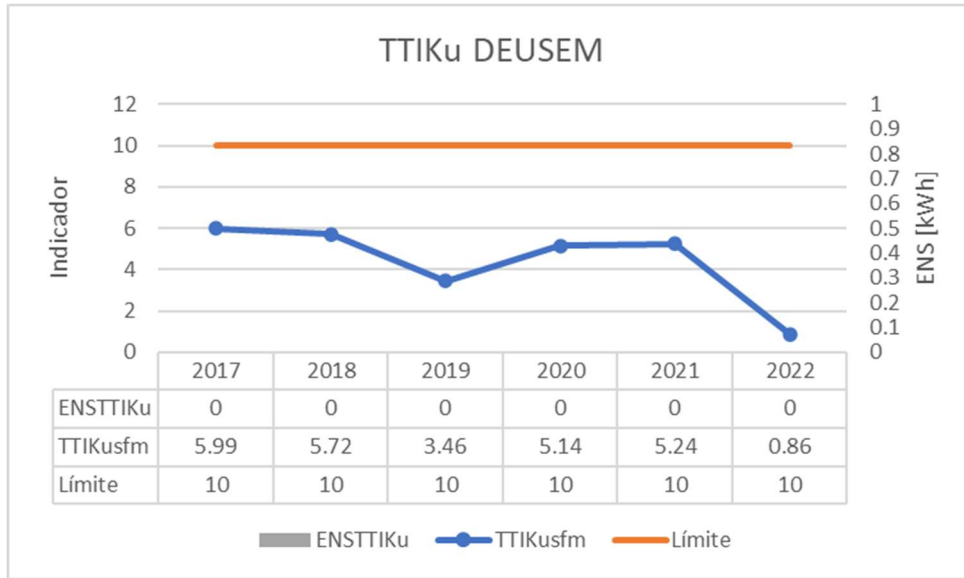
Figura 32. Registro de TTIKu para CLESA 2017 a 2022

Para el área de baja densidad el indicador TTIK para la distribuidora CLESA en los últimos tres años se han registrado excedentes del límite por lo que se ha definido la correspondientes ENS, esto se muestra en la Fig.33.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 33. Registro de TTIKr para CLESA 2017 a 2022

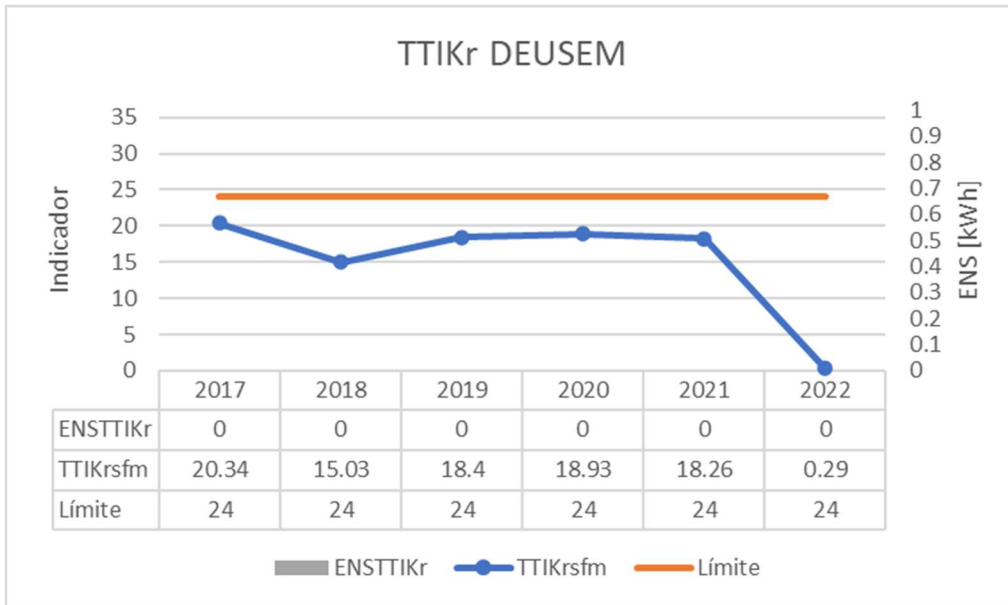


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 34. Registro de TTIKu para DEUSEM 2017 a 2022

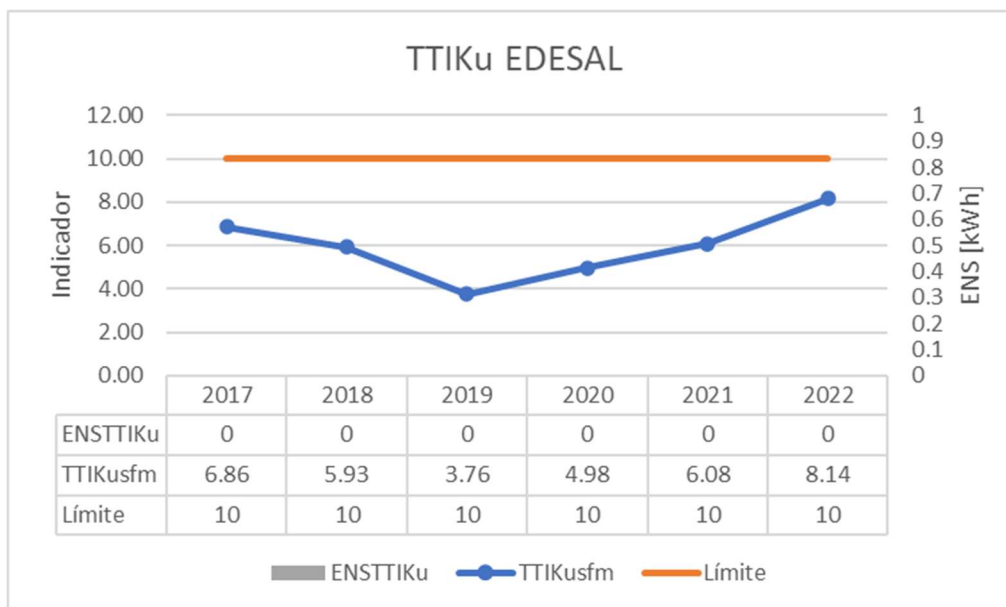
En la Fig.34 se visualiza el comportamiento registrado para el indicador TTIK de alta densidad para la distribuidora DEUSEM.

Para el indicador TTIK de baja densidad se observa en la Fig. 35 que se han mantenido debajo del límite.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 35. Registro de TTIKr para DEUSEM 2017 a 2022

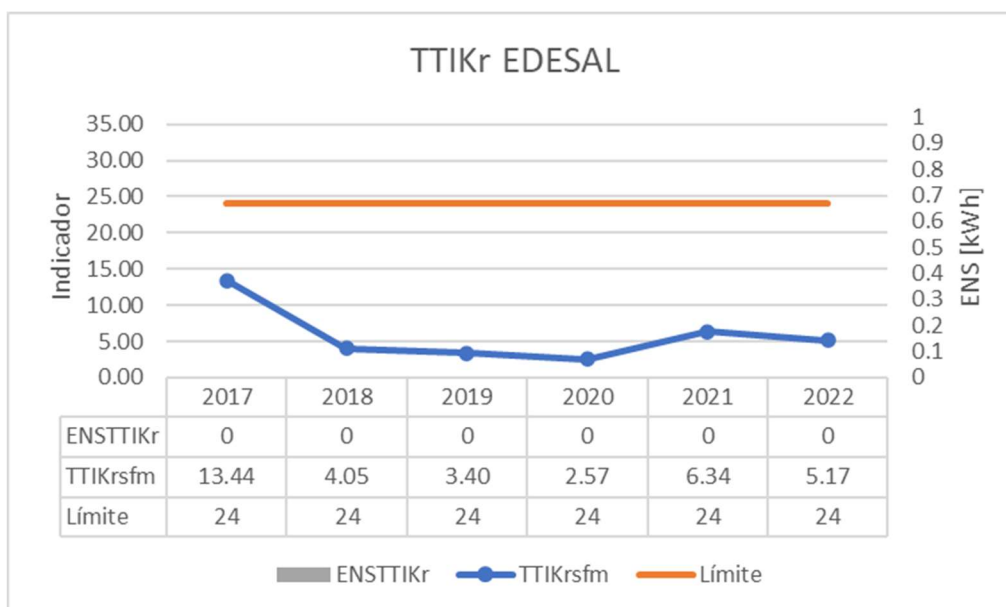


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 36. Registro de TTIKu para EDESAL 2017 a 2022

En la Fig. 36 se muestra el registro del indicador TTIK para la distribuidora EDESAL en el área de alta densidad donde se observa que se cumple con el límite para todos los años.

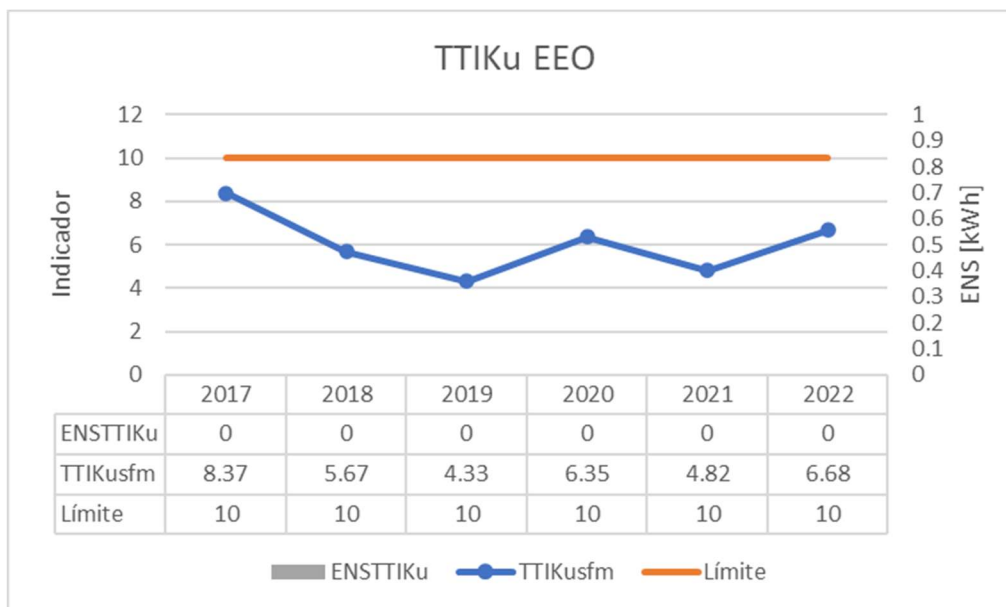
En la Fig. 37 se presenta los registros para el TTIK en el sector de baja densidad para la distribuidora EDESAL donde queda evidenciado que se ha cumplido con el límite en todos los años presentados.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 37. Registro de TTIKr para EDESAL 2017 a 2022

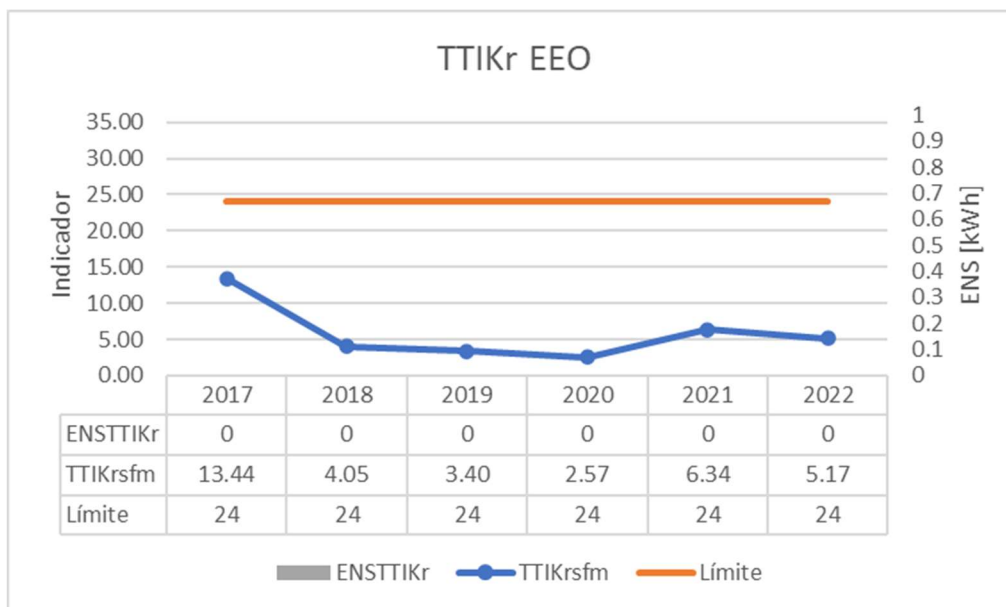
Para la distribuidora EEO en la Fig. 38 se puede observar que los registros del indicador TTIK se han mantenido debajo del límite de la normativa.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 38. Registro de TTIKu para EEO 2017 a 2022

En la Fig. 39 se muestran los registros del indicador TTIK en baja densidad para la distribuidora EEO, los cuales están en cumplimiento.

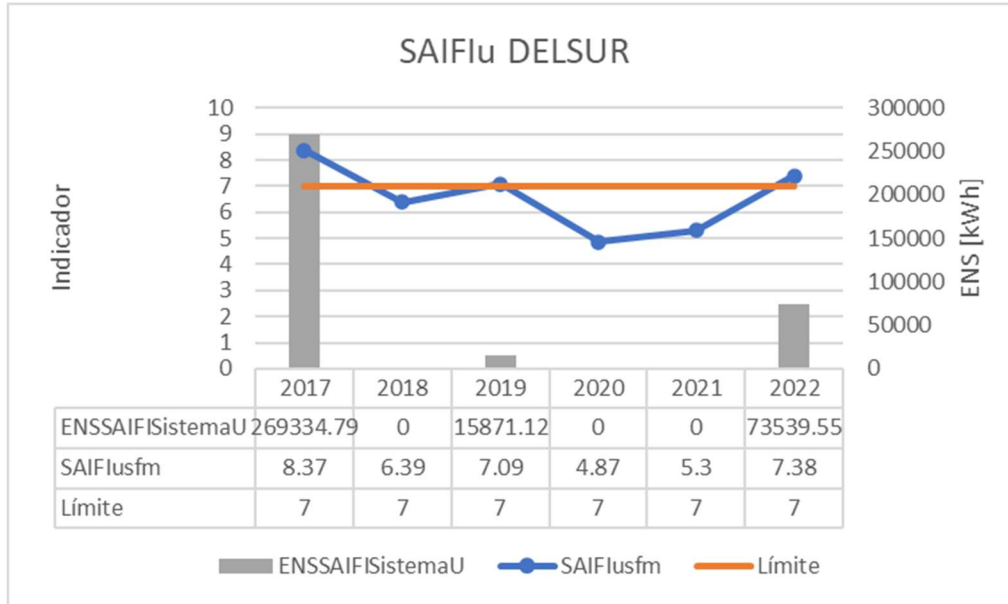


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 39. Registro de TTIKr para EEO 2017 a 2022

### 3.3.3 SAIFI

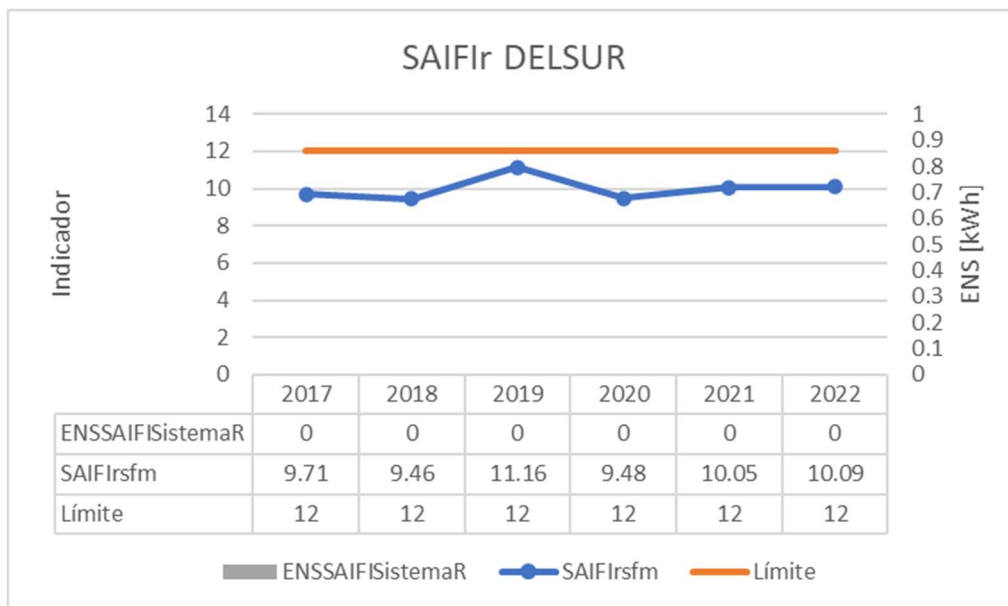
En la distribuidora DELSUR se han registrado valores de SAIFI en alta densidad mostrados en la Fig.40 donde se puede apreciar que en 2022 se ha excedió el indicador y por lo tanto se definió un valor para ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 40. Registro de SAIFlu para DELSUR 2017 a 2022

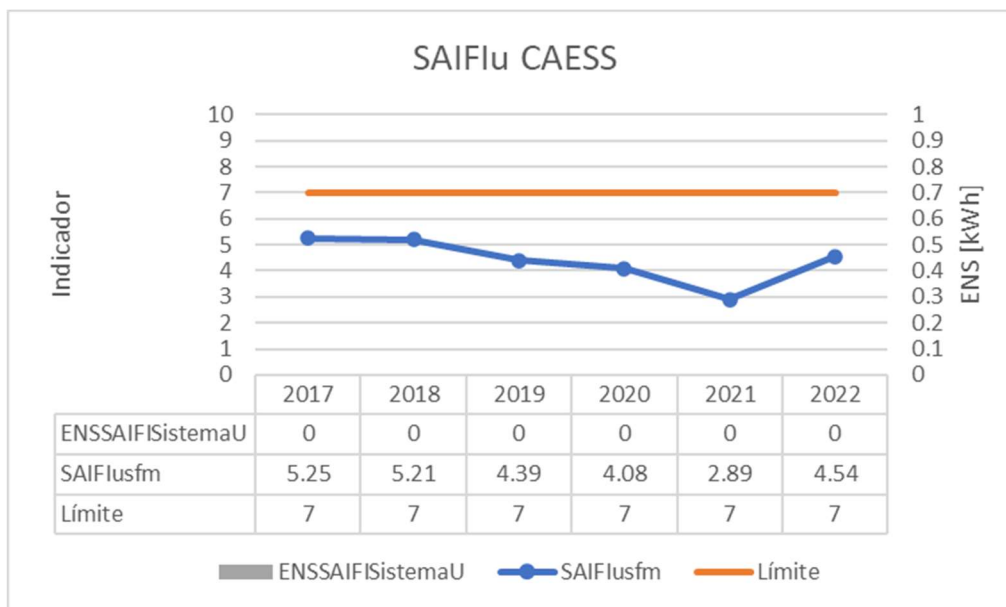
En la Fig.41, para la distribuidora DELSUR en baja densidad los registros muestran que se ha mantenido el indicador debajo del límite definido y por lo tanto no hay una ENS establecida.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 41. Registro de SAIFlr para DELSUR 2017 a 2022

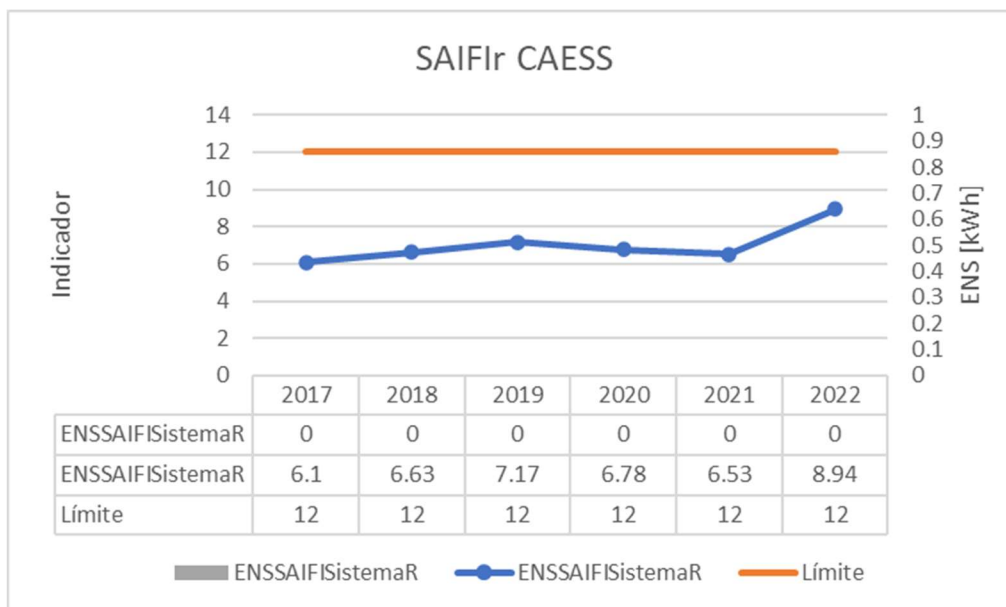
En la Fig.42 se muestra el registro de los valores del indicador SAIFI para la distribuidora CAESS en el área de alta densidad, todos en cumplimiento.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 42. Registro de SAIFlu para CAESS 2017 a 2022

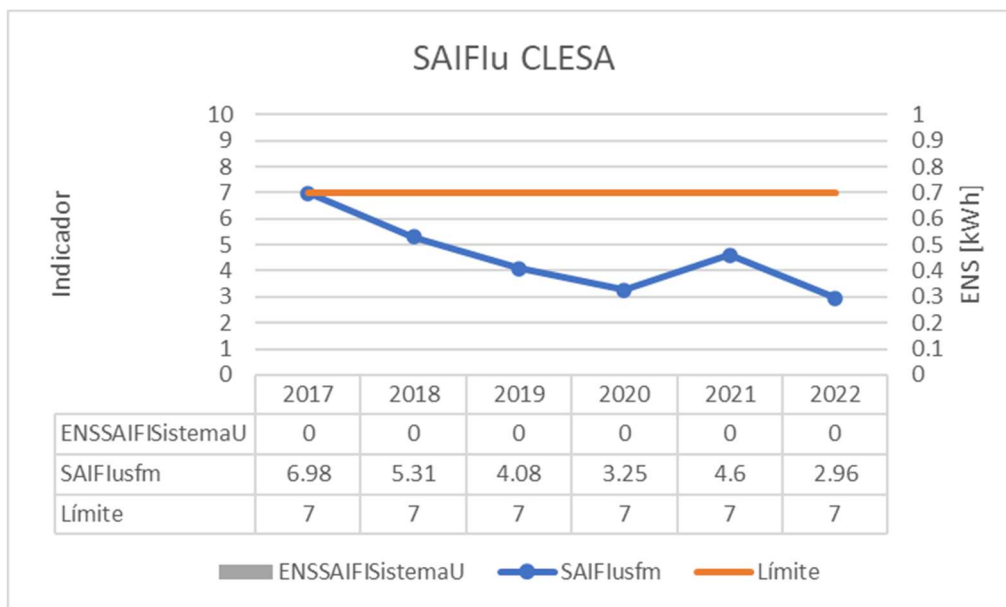
En la Fig. 43 se muestran los registros del indicador SAIFI en baja densidad para la distribuidora CAESS, todos en cumplimiento.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 43. Registro de SAIFIr para CAESS 2017 a 2022

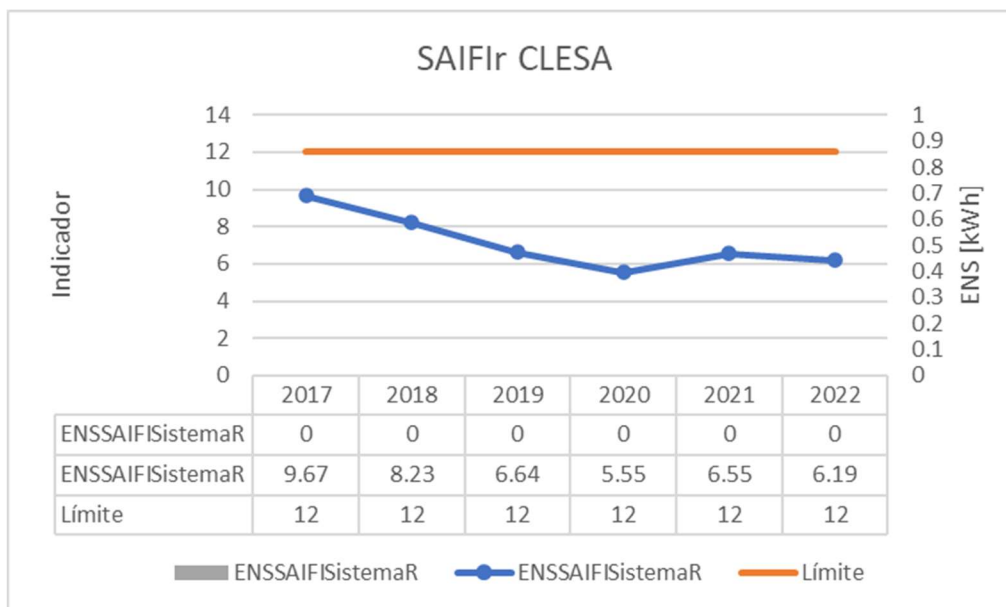
Para la distribuidora CLESA, en la Fig. 44 se observa el registro del indicador SAIFI para alta densidad; en los años mostrados el indicador no excedió el límite por lo que no hay ENS definida.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 44. Registro de SAIFlu para CLESA 2017 a 2022

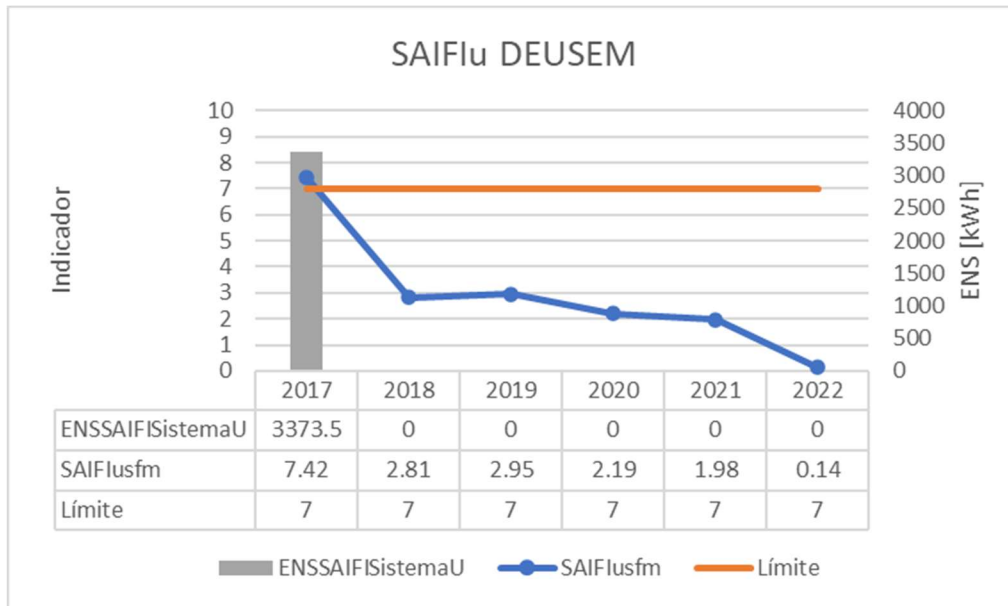
Para la distribuidora CLESA en el área de baja densidad se muestran en la Fig.45 los registros del indicador SAIFI



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 45. Registro de SAIFlr para CLESA 2017 a 2022

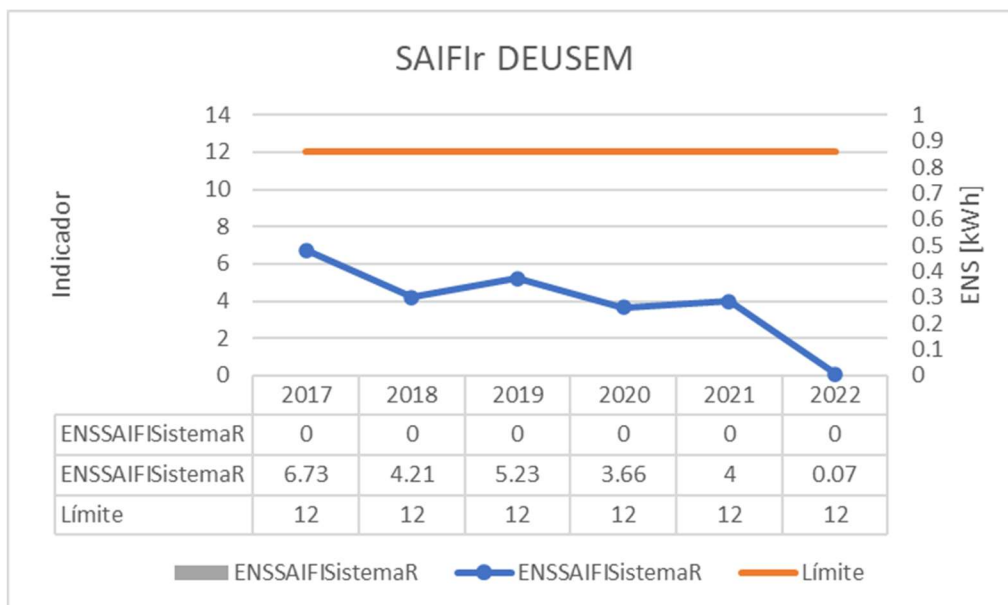
La Fig. 46 muestra los registros del indicador SAFI en alta densidad para la distribuidora DEUSEM observándose cumplimiento desde 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 46. Registro de SAIFlu para DEUSEM 2017 a 2022

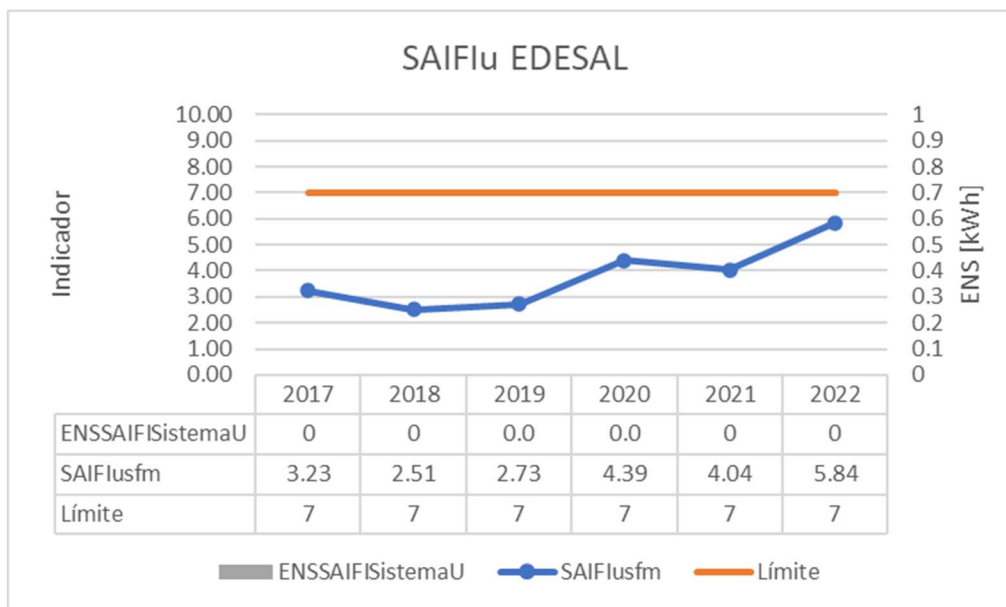
Para el área de baja densidad en la distribuidora DEUSEM se muestran en la Fig. 47 los indicadores registrados, todos los valores en cumplimiento.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 47. Registro de SAIFlr para DEUSEM 2017 a 2022

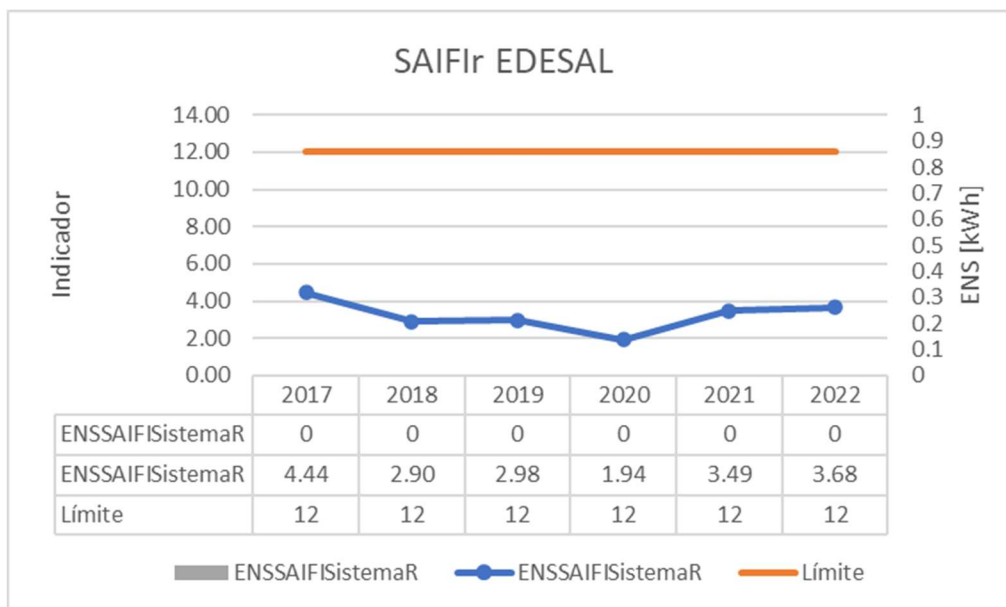
En la Fig. 48 se muestra los indicadores SAIFI registrados en alta densidad, siendo menores al límite en todos los períodos por lo que no se define una ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 48. Registro de SAIFlu para EDESAL 2017 a 2022

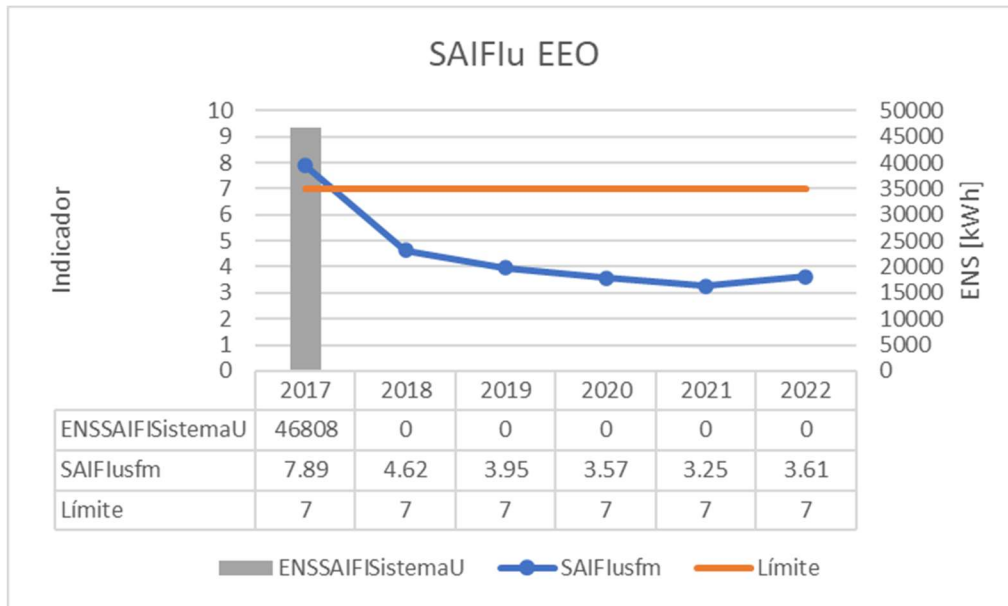
Para la distribuidora EDESAL en baja densidad los registros del indicador SAIFI se muestran en la Fig. 49.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 49. Registro de SAIFlr para EDESAL 2017 a 2022

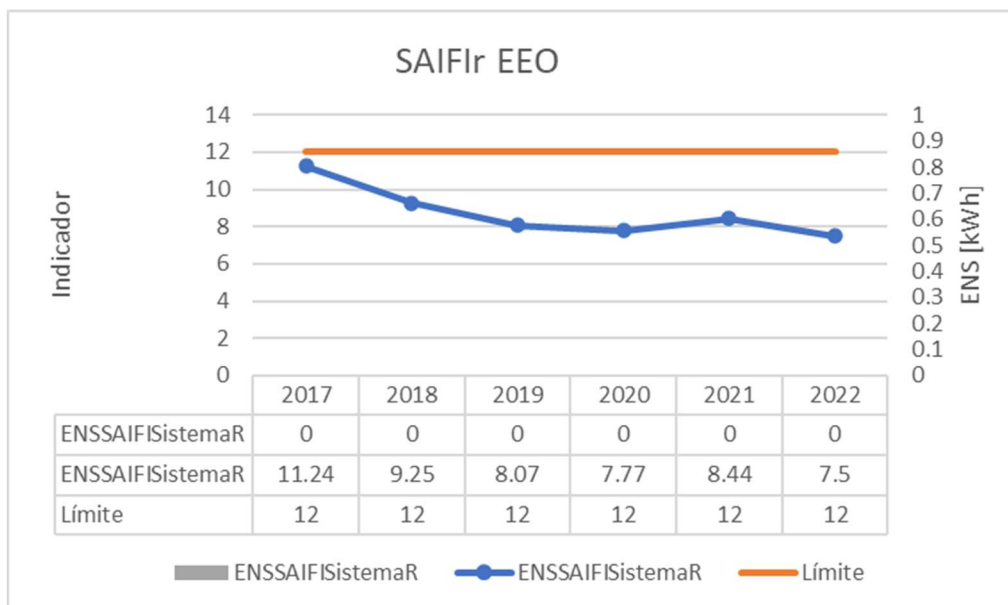
En la Fig. 50 se presentan los valores registrados de SAIFI en alta densidad para la distribuidora EEO, en 2017 se registró una excedencia del límite por lo que se definió una ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 50. Registro de SAIFlu para EEO 2017 a 2022

En la Fig.51 se muestra el registro de los valores del indicador SAIFI en baja densidad para la distribuidora EEO, sin que se registren valores mayores al límite y por ello no hay definición de ENS.

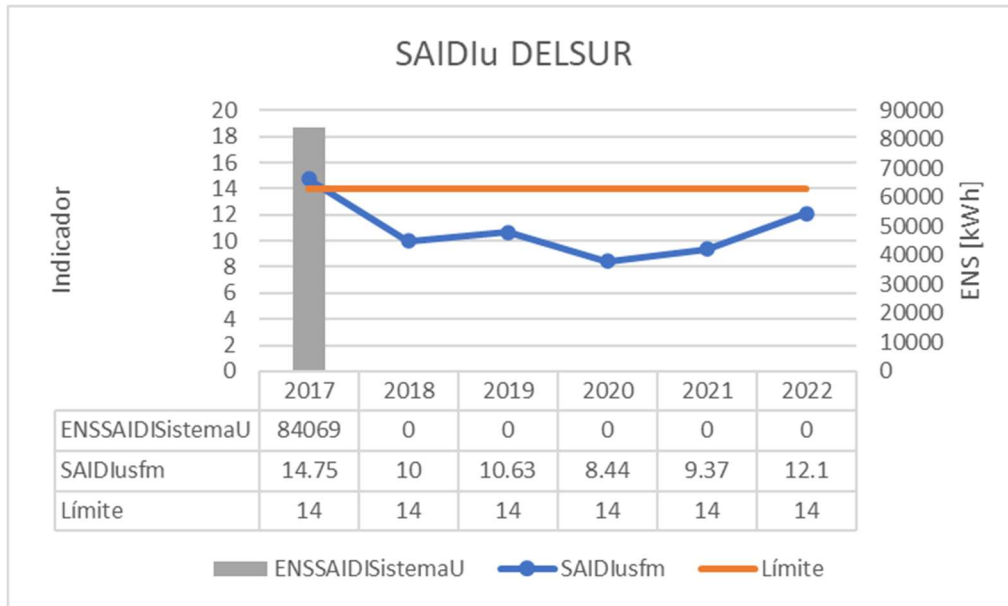


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 51. Registro de SAIFlr para EEO 2017 a 2022

### 3.3.4 SAIDI

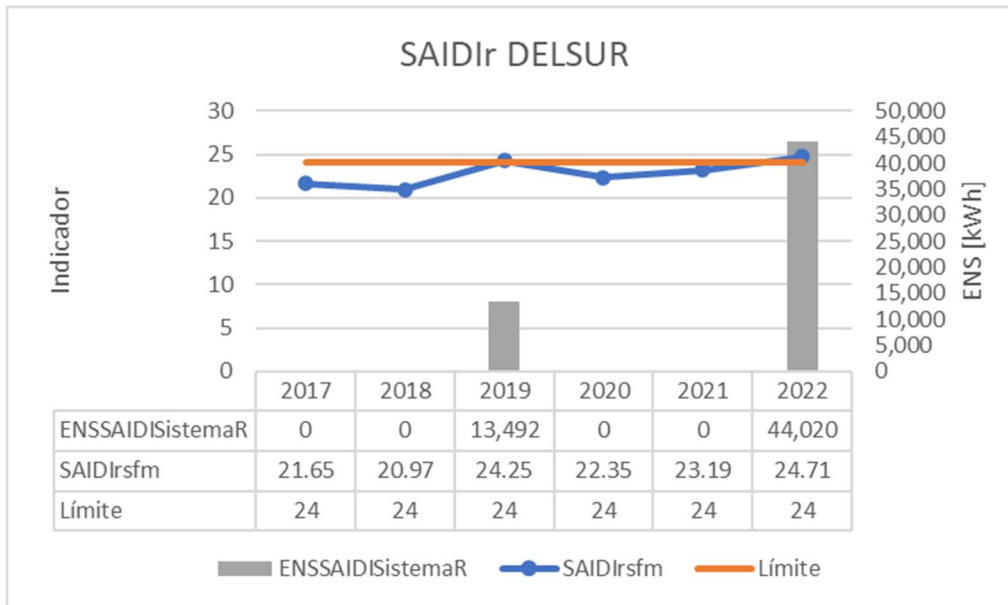
En la Fig. 52 se muestra los valores de SADI en alta densidad para la distribuidora DELSUR, en 2017 hubo excedencia por lo que se definió una ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 52. Registro de SAIDIu para DELSUR 2017 a 2022

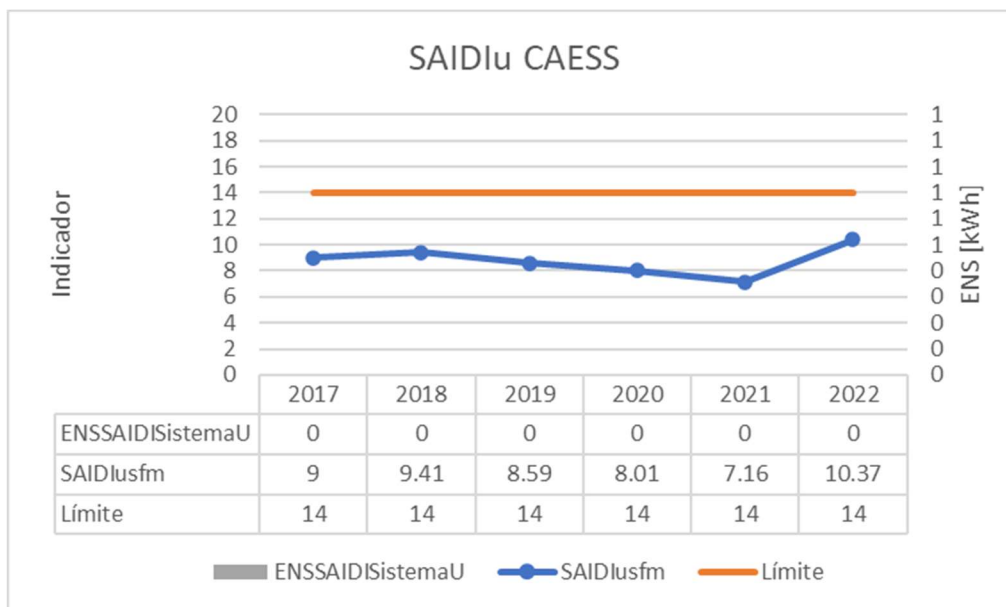
Para baja densidad siempre en la distribuidora DELSUR se presentan en la Fig. 53 los registros de SAIDI reflejan que en el año 2022 se excedió el límite y por lo tanto se estableció una ENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 53. Registro de SAIDIr para DELSUR 2017 a 2022

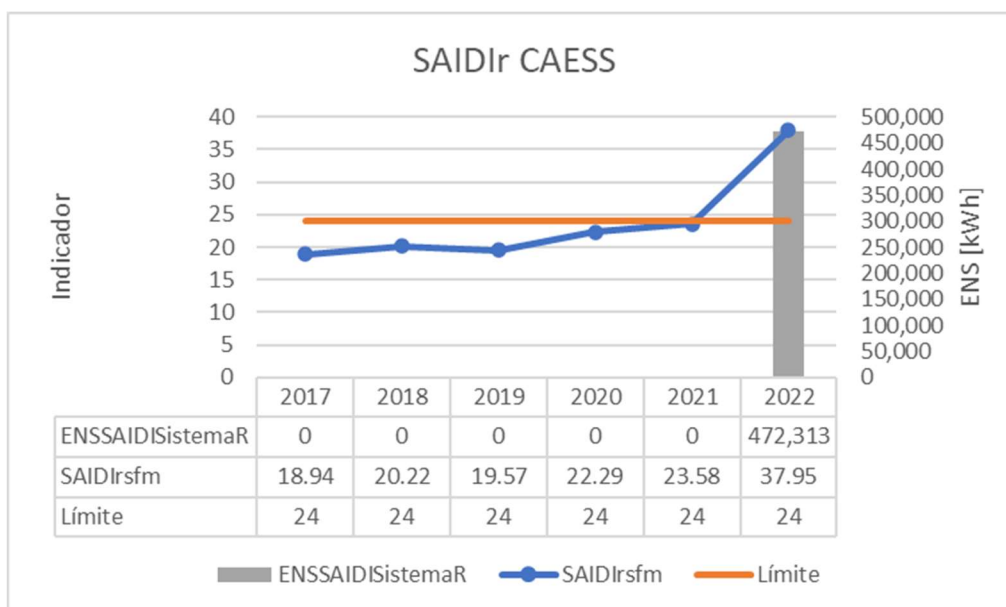
En la Fig. 54 los valores del indicador SAIDI para el área de alta densidad correspondientes a la distribuidora CAESS donde se evidencia que no hay excedentes del límite para los años mostrados.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 54. Registro de SAIDIu para CAESS 2017 a 2022

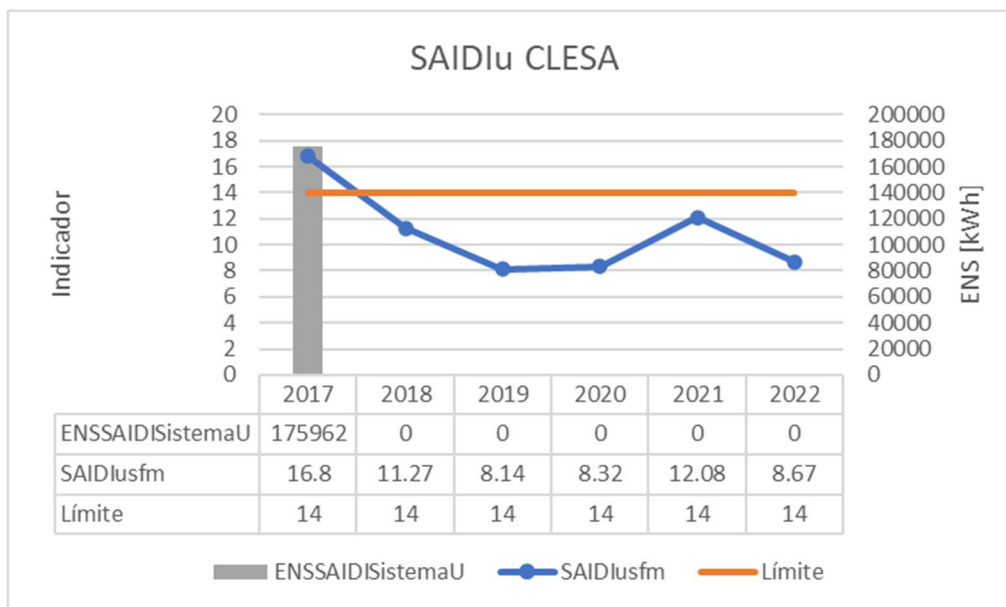
Para la baja densidad en la distribuidora CAESS se muestra que en 2022 el límite fue excedido y por ello se registró una ENS como se muestra en la Fig. 55



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 55. Registro de SAIDIr para CAESS 2017 a 2022

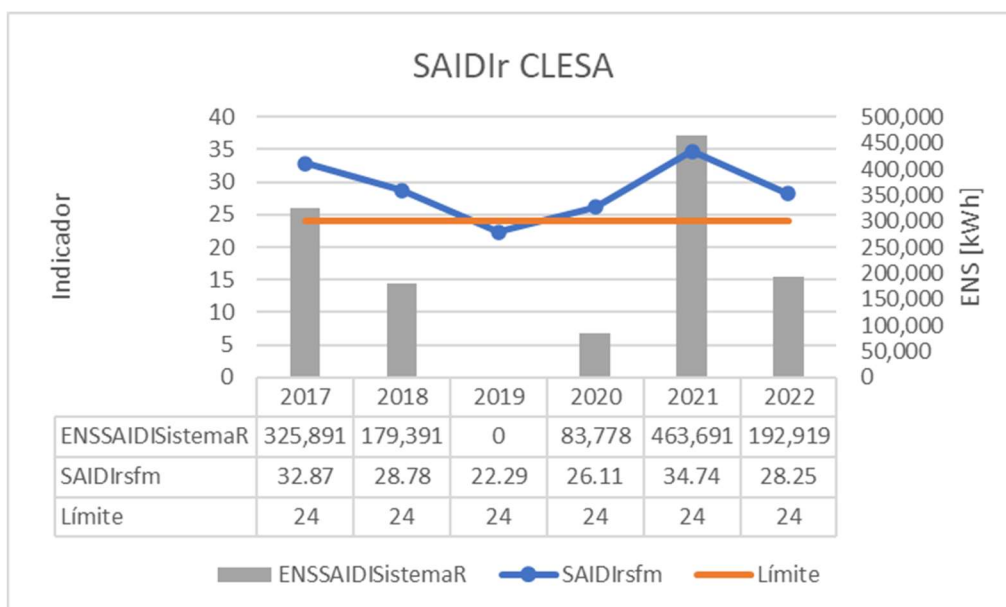
En la Fig.56 se muestran los valores registrados para el indicador SAIDI en alta densidad para la distribuidora CLESA



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 56. Registro de SAIDIu para CLESA 2017 a 2022

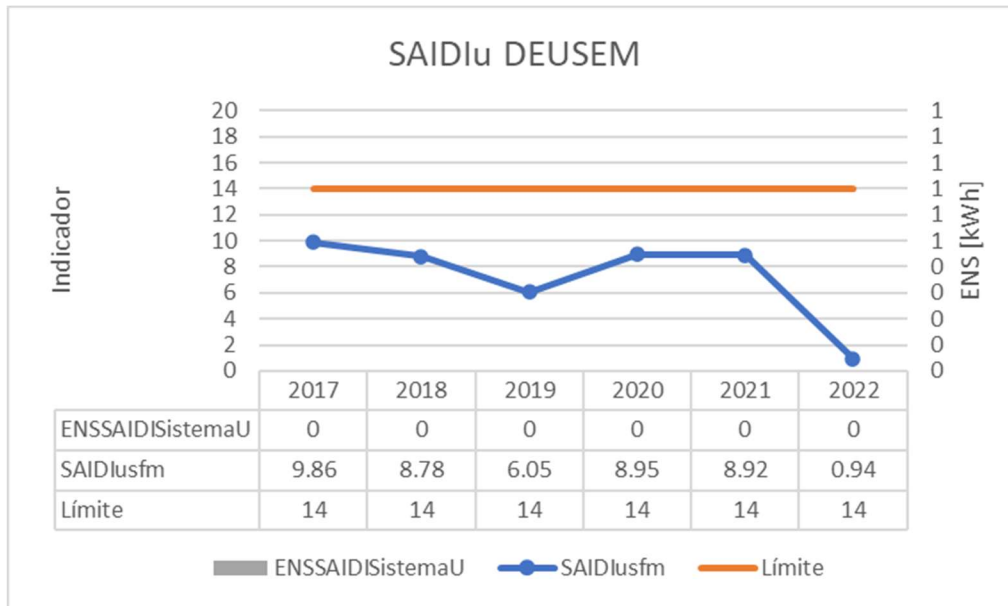
Como puede verse en la Fig. 57 en la distribuidora CLESA se han tenido varios años con el límite excedido y por ello existen valores de ENS calculados.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 57. Registro de SAIDIr para CLESA 2017 a 2022

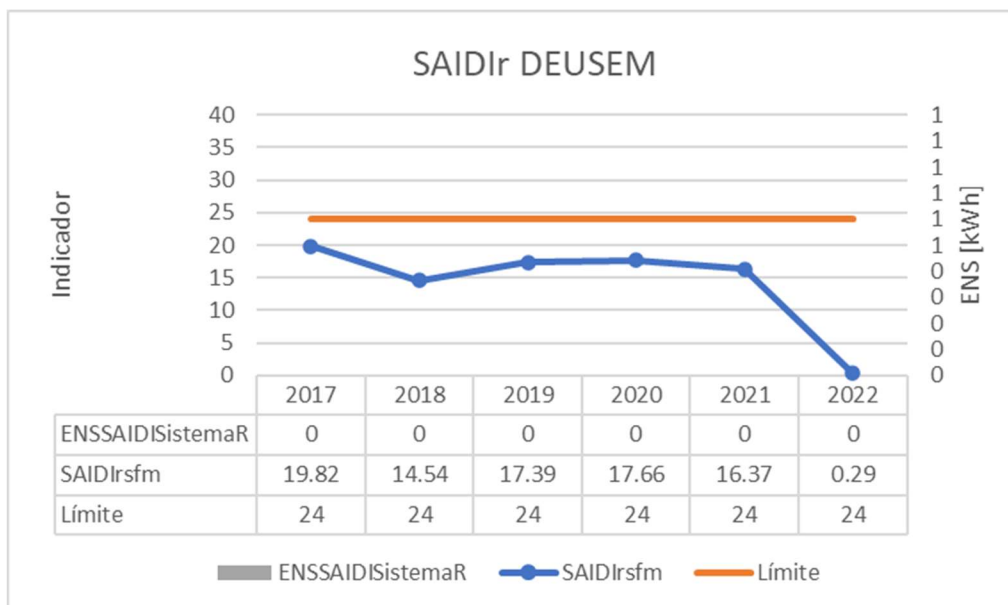
Como se observa en la Fig. 58 se muestran los valores del indicador SAIDI para alta densidad correspondientes a la distribuidora DEUSEM



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 58. Registro de SAIDIu para DEUSEM 2017 a 2022

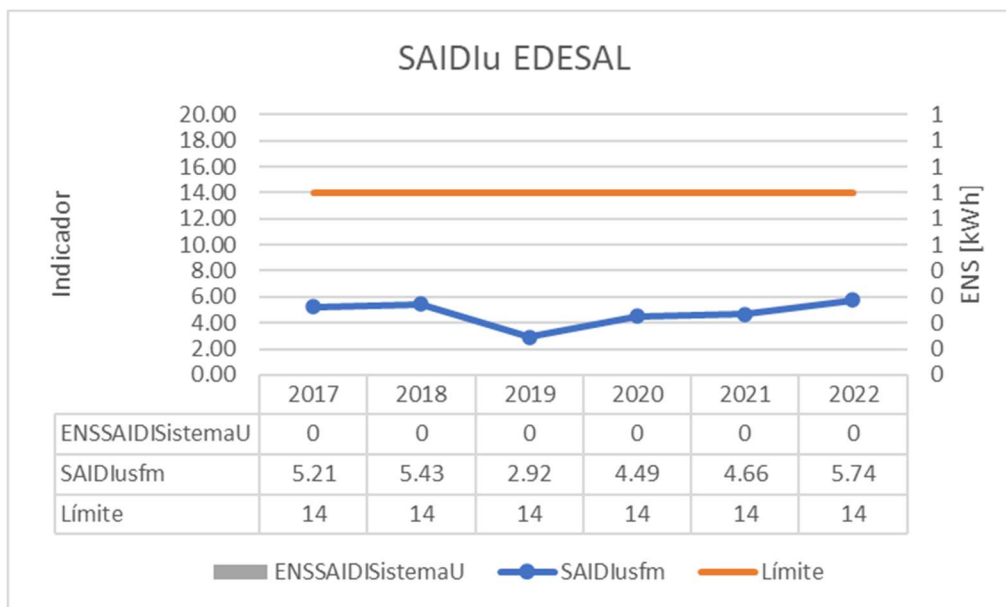
Como se observa en la Fig. 59 el indicador SAIDI en baja densidad se ha mantenido debajo del límite para los seis años mostrados.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 59. Registro de SAIDIr para DEUSEM 2017 a 2022

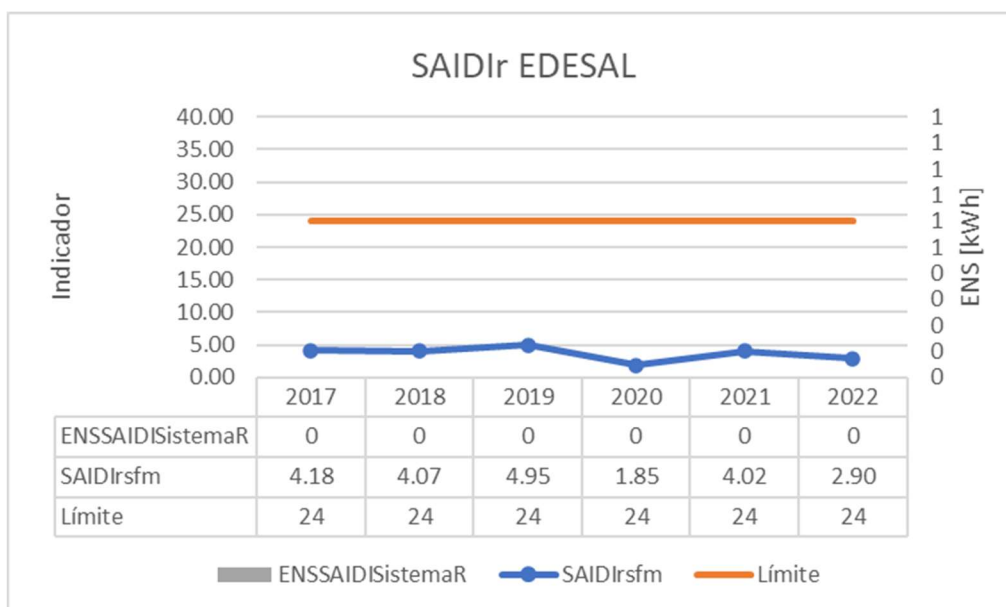
Tal como se presenta en la Fig. 60 los registros del indicador SAIDI para la distribuidora EDESAL se han mantenido debajo del límite que establece la normativa y por ello no tienen ENS calculada.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 60. Registro de SAIDIu para EDESAL 2017 a 2022

En la Fig. 61 se visualiza que para el sector de baja densidad la distribuidora EDESAL ha mantenido su indicador SAIDI debajo del límite.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

Figura 61. Registro de SAIDIr para EDESAL 2017 a 2022

Como se observa en la Fig. 62 el indicador SAIDI en alta densidad de la distribuidora EEO se ha encontrado en cumplimiento con el límite definido.

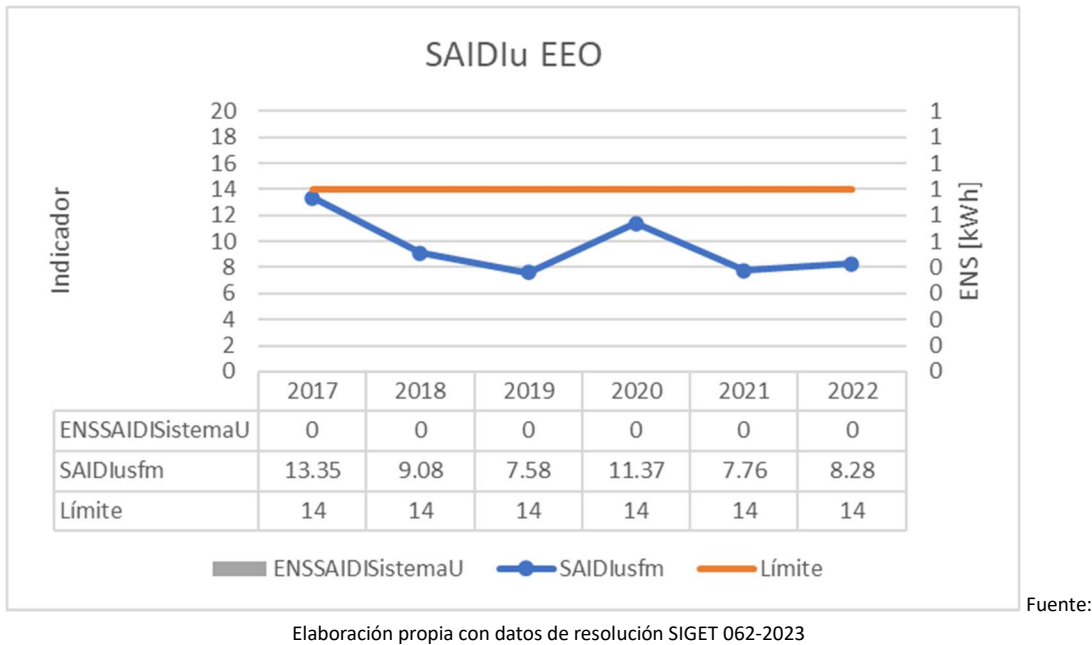


Figura 62. Registro de SAIDIu para EEO 2017 a 2022

Para la distribuidora EEO en la densidad baja se tiene el registro mostrado en la Fig. 63 para el indicador SAIDI

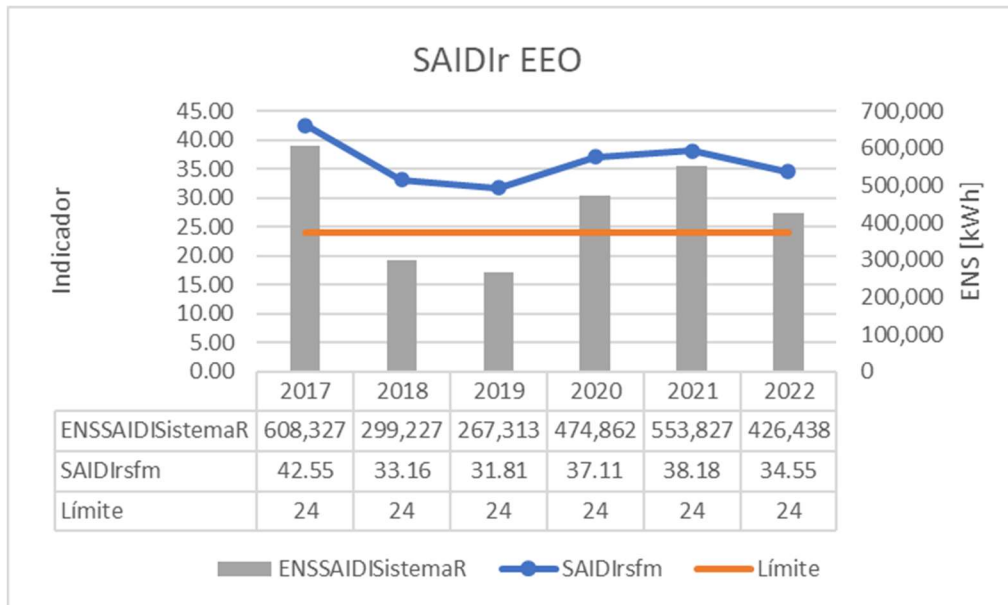


Figura 63. Registro de SAIDIr para EEO 2017 a 2022

En la tabla 4 se muestra el cumplimiento que las distribuidoras registraron para los indicadores, en porcentaje de la cantidad de años que cumplieron con el límite del indicador. El periodo mostrado es de cinco años desde 2018 a 2022.

Por ejemplo, para el caso de CAESS cumplió con el límite en los indicadores FMIK (alta y baja densidad), TTIK (alta densidad), SAIFI (alta densidad), SAIDI (alta densidad). En el caso del indicador SAIFI de baja densidad no se cumplió ninguno de los años y el SAIDI de baja densidad se cumplió en 4 de los 5 años por lo que se muestra un 80% de cumplimiento.

Tabla 4. Resumen de cumplimiento de indicadores por distribuidora

Distribuidora			CAESS	CLESA	DELSUR	DEUSEM	EEO	EDESAL
			Cumplimiento					
Indicador	Densidad	Valor aceptable	Porcentaje de cumplimiento en el período 2018 a 2022					
FMIK	alta	5	100%	100%	40%	100%	100%	60%
	baja	10	100%	100%	80%	100%	100%	100%
TTIK	alta	10	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	baja	24	80%	20%	100%	100%	0%	100%
SAIFI	alta	7	100%	100%	60%	100%	100%	100%
	baja	12	0%	100%	100%	100%	100%	100%
SAIDI	alta	14	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	baja	24	80%	20%	60%	100%	0%	100%

Elaboración propia con datos de resolución SIGET 062-2023

### 3.4 Cumplimiento de indicadores por Distribuidora

En los últimos cinco años con los datos obtenidos a través de consultas directas al oficial de información de la SIGET se ha construido la tabla 4, la cual presenta de manera global el porcentaje de cumplimiento en cada indicador por cada año. A continuación, se desarrolla los comentarios pertinentes para cada una de las distribuidoras.

#### 3.4.1 Distribuidora CAESS

CAESS presenta un cumplimiento muy alto, arriba del 80% en todos los indicadores excepto en el SAIFI de baja densidad, en la cual no se ha logrado el cumplimiento del indicador en ninguno de los últimos cinco años. CAESS proporciona servicio a la región central de El Salvador, incluyendo la capital del país, fundada en 1890 y con más de 643 mil clientes en los departamentos de Chalatenango, Cuscatlán, Cabañas y la zona norte de San Salvador, cubriendo 4,636 km<sup>2</sup> con clientes en sectores urbanos, comunidades rurales. El valor del SAIFI en áreas de baja densidad podría mejorarse con proyectos de soporte en las zonas de comunidades remotas en Chalatenango ya que en el área metropolitana de San Salvador la densidad es alta. (CAESS / AES El Salvador, s. f.)

#### 3.4.2 Distribuidora CLESA

CLESA registra cumplimiento total de los indicadores en el periodo de los últimos cinco años, quedando solamente el TTIK y el SAIDI como incumplimiento en 4 de los últimos cinco años, ambos en área de baja densidad, fundada en 1892 y sirviendo la zona occidental del país, específicamente a los departamentos de Santa Ana, Sonsonate, Ahuachapán y parte del departamento de La Libertad, tiene operaciones en 5,189 km<sup>2</sup> proveyendo electricidad a más de 454 mil clientes de los cuales más

del 50% lo constituyen familias de las zonas rurales donde a través de proyectos de electrificación y coordinación con instituciones como el Fondo de inversión Nacional de Electricidad y Telecomunicaciones (FINET), alcaldías y comunidades organizadas se realizan trabajos de mejoras en la electrificación de las áreas rurales en la zona de influencia. (CLESA / AES El Salvador, s. f.)

#### 3.4.3 Distribuidora DEUSEM

DEUSEM ha logrado un cumplimiento total de los indicadores para el periodo de los últimos cinco años, fundada en 1957 posee alrededor de 91 mil clientes, la mayoría en zonas rurales, cuyas tolerancias en los límites de los indicadores son mayores, cubriendo una extensión de 1,584 km<sup>2</sup> en el departamento de Usulután. ((DEUSEM / AES El Salvador, s. f.)

#### 3.4.4 Distribuidora EEO

EEO tiene un registro de cumplimiento completo en sus indicadores excepto dos: TTIK y SAIDI en áreas de baja densidad; fundada en 1995, distribuye energía eléctrica en los departamentos de San Miguel, La Unión, San Vicente y parte de Usulután, beneficiando alrededor de 344 mil clientes con operaciones en 5,520 km<sup>2</sup>.(EEO / AES El Salvador, s. f.)

#### 3.4.5 Distribuidora DELSUR

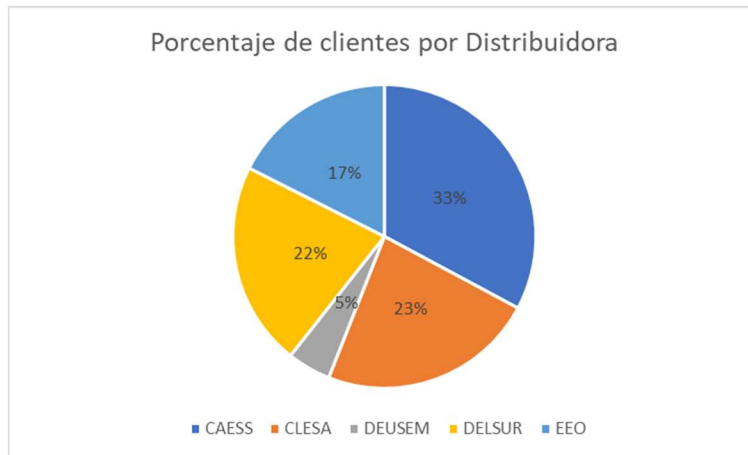
DELSUR ha logrado cumplimiento de los indicadores en los cinco años, sin embargo, en algunos años no ha cumplido con FMIK alta y baja densidad, SAIFI en alta densidad y SAIDI en baja densidad; entregando electricidad a más de 427 mil usuarios en la zona centro sur del país, en los departamentos de La Libertad, San Salvador, La Paz, San Vicente y Cuscatlán. (Distribuidora de Electricidad DELSUR S.A de C.V. – El Salvador C.A., s. f.)

#### 3.4.6 Distribuidora EDESAL

EDESAL, fundada en 2006, provee suministro a sus clientes en diferentes puntos de El Salvador a más de 390 kms de líneas de tendido eléctrico. (EDESAL, s. f.). Ha logrado un cumplimiento en la mayoría de los indicadores en los cinco años, no logrando cumplir solo en el FMIK de alta densidad en los años 2020 y 2022 como se muestra en la Fig. 24.

Las Distribuidoras con cantidades grandes de clientes implementan estrategias de mantenimiento para mantener el cumplimiento de los indicadores, poseen distintos porcentajes de clientes de alta densidad y baja densidad ante los cuales se debe ajustar la gestión del mantenimiento.

La figura 64 muestra el porcentaje de cantidad de clientes que posee cada Distribuidora.



Fuente: Elaboración propia con datos de sitios web de las Distribuidoras de El Salvador

Figura 64. Porcentaje de clientes de las Distribuidoras

### 3.5 Desempeño de las plantas solares en la red de distribución ante fallas y su impacto en las interrupciones

Cuando se generan fallas en la red y las plantas solares se desconectan de la red cuando no deberían hacerlo, es decir se desconectan del sistema aun cuando la frecuencia no ha llegado a 58.10 Hz, generan pérdidas de carga innecesaria que pueden poner en riesgo el sistema. Los sistemas solares conectados en la red de distribución deberían cumplir con los límites establecidos en el ROBCP.

En el anexo 12 del ROBCP Normas de Calidad y Seguridad Operativa, específicamente en la sección 7.3 se define que El rango máximo de variación de la frecuencia en el esquema de desconexión debe considerar 58.10 Hz como valor mínimo.

En eventos regionales donde operan esquemas de protección se han registrado pérdidas de energía por desconexión de plantas solares conectadas a los sistemas de distribución, en dichos casos debe revisarse y actualizarse los parámetros en inversores y relés de protección para operar según los límites del ROBCP. (*GOE-RSGC016 Informe de evento en el sistema eléctrico de potencia.pdf*, s. f.)

El 14 de febrero de 2023 se registró un evento catalogado por la UT como severo en el cual los generadores conectados en distribución retiraron de la red 49.9 MW, la UT declara en su informe que “La pérdida de generación a nivel de distribución, bajo ciertos eventos de inestabilidad como el presente, podrían ocasionar un riesgo mayor al sistema eléctrico de El Salvador y básicamente están disminuyendo la eficacia de la desconexión de demanda por el EDCBF ya que la pérdida de generación distribuida provoca un efecto de aumento de demanda equivalente a la cantidad de generación que se desconecta.” (*00 EVENTO\_03\_140223.pdf*, s. f.)

El 25 de mayo de 2023 se registró un evento catalogado como moderado donde se desconectaron del sistema 20.2 MW, declarando lo mismo respecto al disparo de unidades de generación conectadas en el sistema de Distribución, y recomienda : “Los distribuidores deben revisar nuevamente la configuración de los inversores y/o protecciones de plantas fotovoltaicas operando en su red, en cuanto al rango de operación de frecuencia y huecos de tensión, para homologarlo a los requerimientos del ROBCP y así evitar pérdidas de generación innecesarias y que pueden representar un riesgo para el sistema.” (*01 EVENTO\_19\_250523.pdf*, s. f.)

La Unidad de Transacciones ha registrado y reportado 31 eventos para el año 2023, en los cuales la recomendación de revisar los ajustes y cumplir con los definidos en el ROBCP para frecuencia es común en el 70% de los casos. En 22 de 31 eventos se presenta desconexión de generación distribuida durante el evento provocando aumento de la demanda equivalente a la cantidad de generación que se desconecta. Los eventos de 2023 que presentan este mismo comportamiento y recomendación son: 1,2,3,5,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,23,28,29,30 y 31.

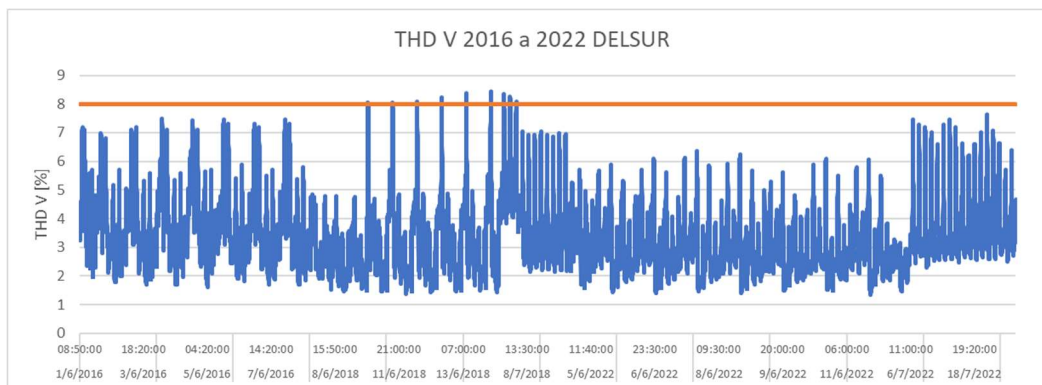
La cantidad de eventos de 2023 en los cuales la UT hace la observación sobre la operación de los sistemas solares conectados específicamente en distribución, se muestra evidencia de una pérdida innecesaria de generación cuando se dan condiciones de emergencia en el sistema. Esto indica que hay indicios de que en dichos eventos la operación de los sistemas solares en distribución incide en la energía no servida a los usuarios.

### 3.6 Registro de distorsión armónica en El Salvador y su relación con las plantas de generación eólicas y fotovoltaicas

En El Salvador, como se muestra en la Fig.14 y se describe en la sección 3.2, existen plantas fotovoltaicas instaladas en los últimos 9 años y una eólica cuya operación inició en 2020. En los siguientes registros se presentan las mediciones de distorsión armónica medidas por las distribuidoras donde queda en evidencia que no existe impacto en el indicador por la operación de dichas plantas.

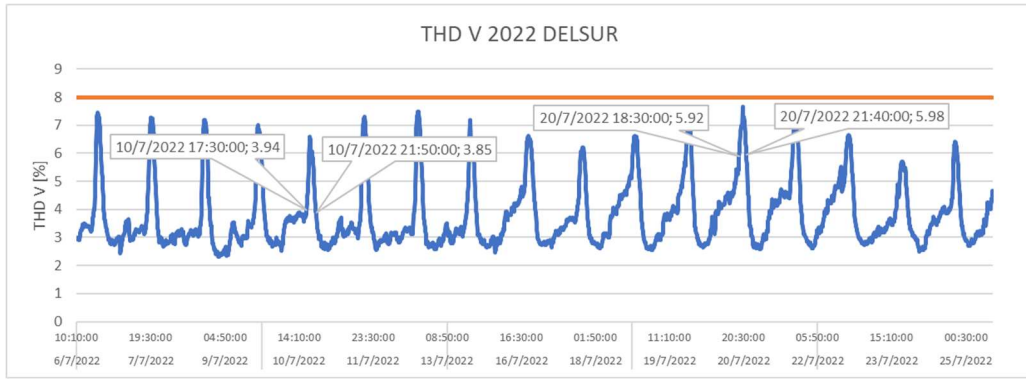
#### 3.6.1 Distribuidora DELSUR

Para la distribuidora DELSUR los registros de medición de distorsión armónica de voltaje muestran en la Fig.65 valores que en un periodo del año 2018 exceden el límite; en los años 2020 y 2022 los valores se encuentran debajo del límite sin embargo presentan una periodicidad mostrada con mayor detalle en la Fig.66



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

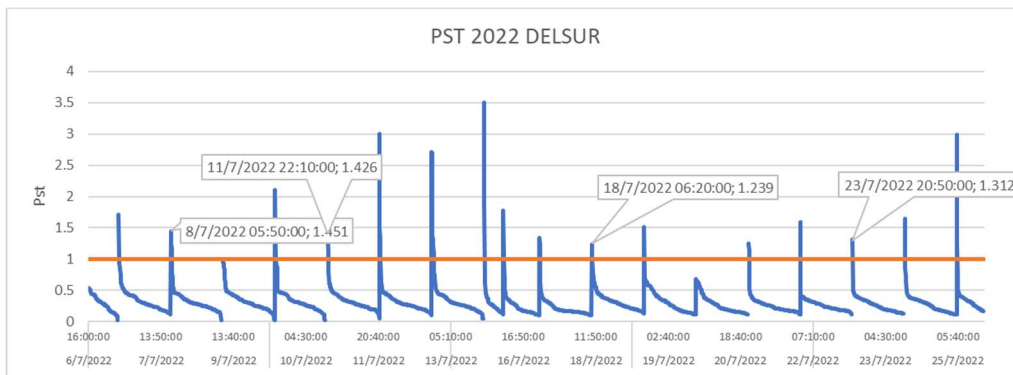
Figura 65. Registro de distorsión armónica distribuidora DELSUR de 2016 a 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 66. Registro de distorsión armónica distribuidora DELSUR en 2022

En la distribuidora DELSUR el flicker registrado presenta excedencias del límite en horas relacionadas con inicios de jornadas laborales o industriales por lo que se debe investigar las causas y definir el plan de acción, generalmente incrementar el voltaje de alimentación a una carga específica para reducir el efecto del parpadeo. En la Fig. 67 se muestra mediciones de flicker para dicha distribuidora.

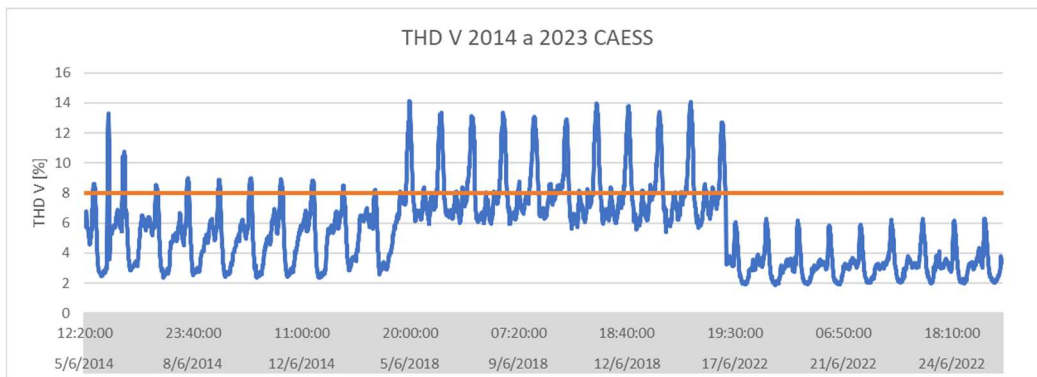


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 67. Registro de Pst distribuidora DELSUR en 2022

### 3.6.2 Distribuidora CAESS

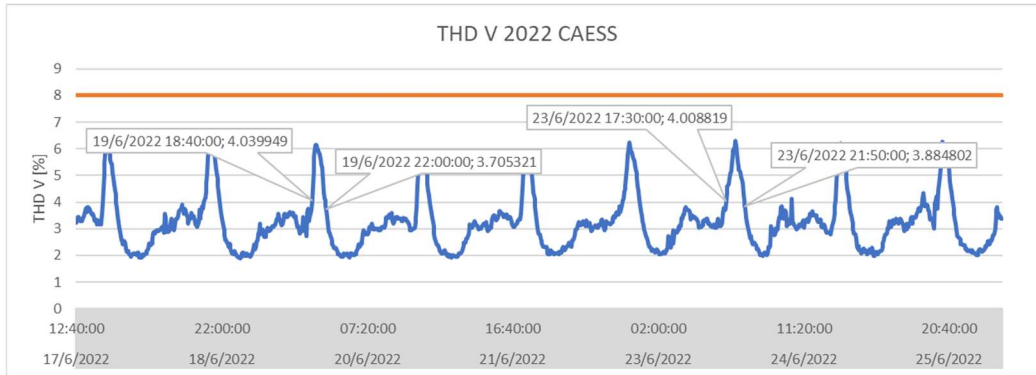
Para la distribuidora CAESS, el registro de mediciones de THD V se muestra en la Fig.68



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

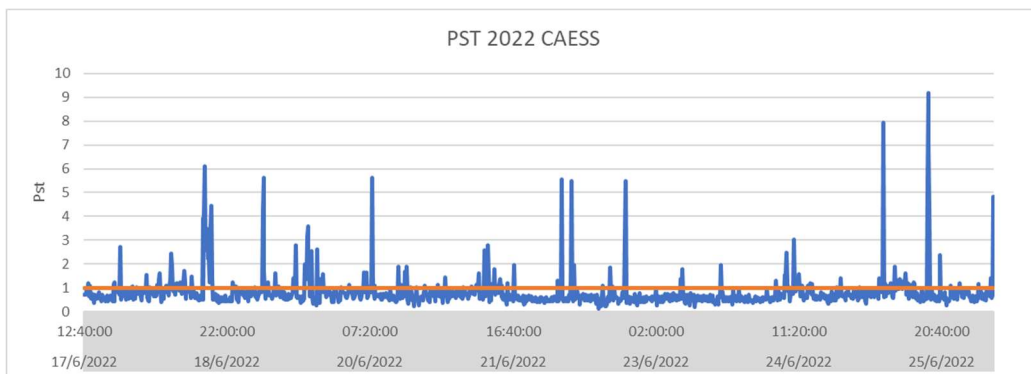
Figura 68. Registro de distorsión armónica distribuidora CAESS de 2014 a 2022

Según los registros de mediciones en 2022 para la distribuidora CAESS, se muestra en la Fig.69 los valores de THD V en las diferentes horas del día.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 69. Registro de distorsión armónica distribuidora CAESS en 2022



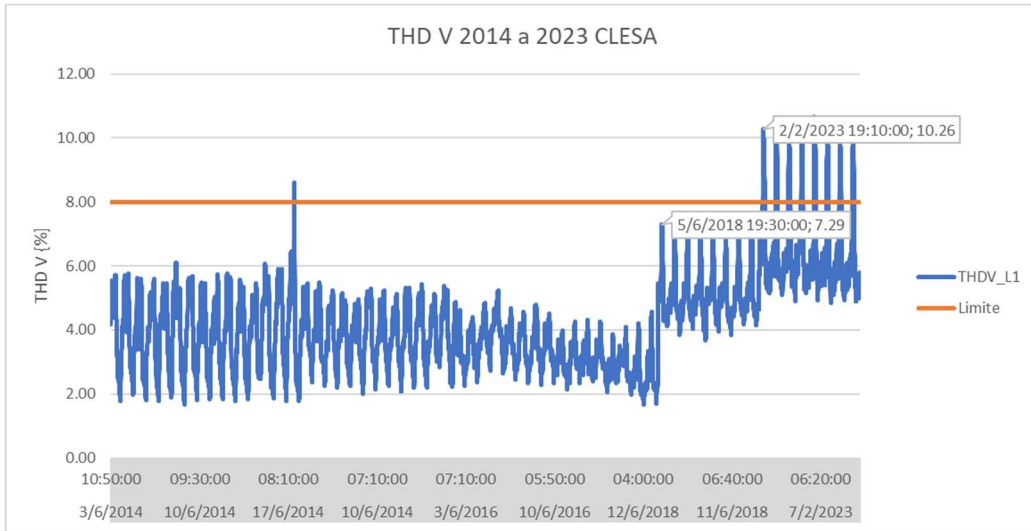
Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 70. Registro de Pst distribuidora CAESS en 2022

En la Fig. 70 se muestran los registros de Pst para la distribuidora CAESS en 2022 evidenciándose puntos donde se excede el límite de la normativa.

### 3.6.3 Distribuidora CLESA

Los registros de las mediciones de distorsión armónica en la distribuidora CLESA se muestran de forma gráfica en la Fig.71

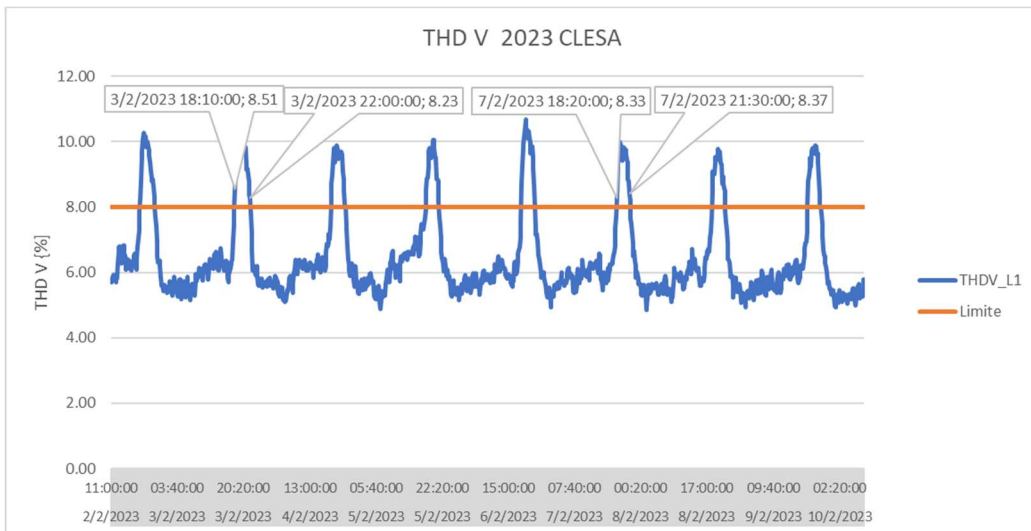


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 71. Registro de distorsión armónica distribuidora CLESA de 2014 a 2023

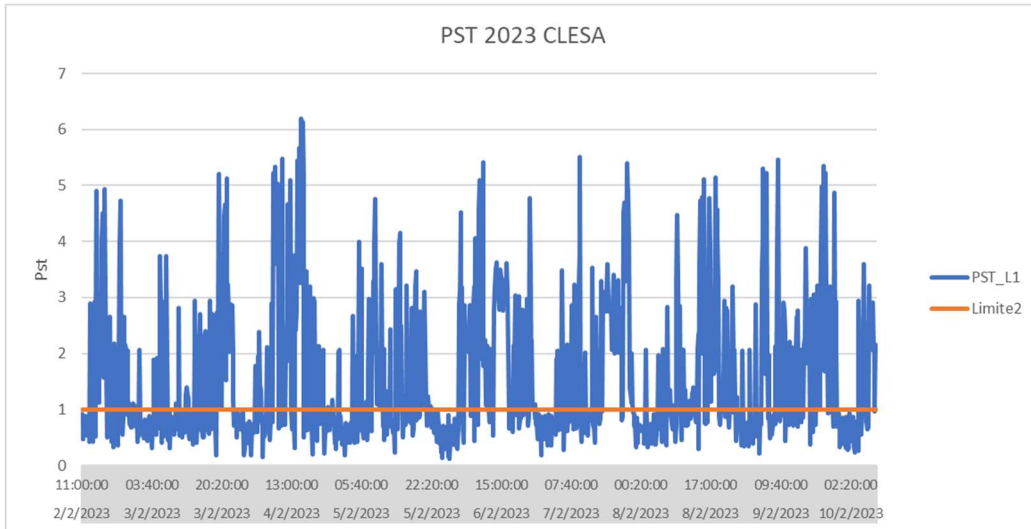
En la Fig.71 se observa que hay un incremento del valor alrededor de año 2018 y en el año 2023 los valores de los picos ya superan el valor límite para la distorsión armónica total THD V.

Realizando un análisis más específico de los registros, se observa en la Fig.72 las horas en las que se excede el límite establecido en la Normativa.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 72. Registro de distorsión armónica distribuidora CLESA en 2023

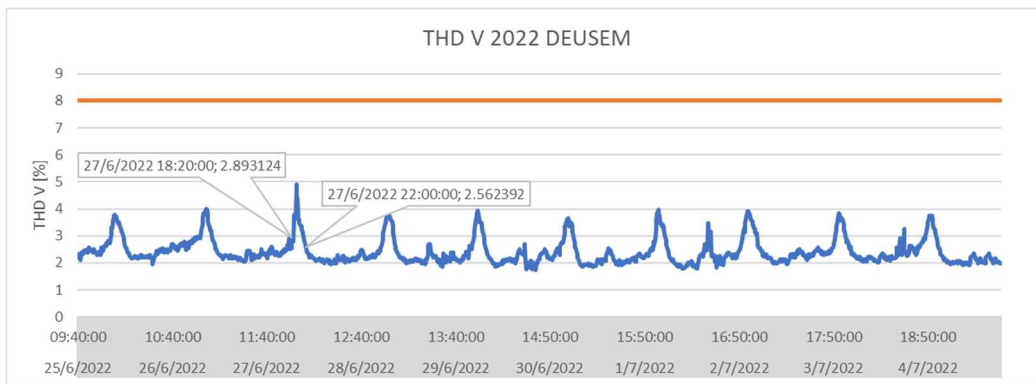


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 73. Registro de Pst distribuidora CLESA en 2023

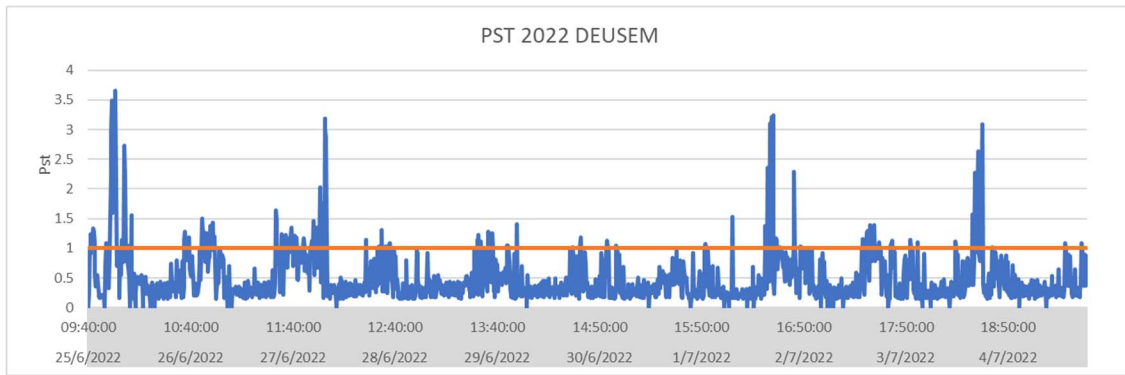
En la Fig.73 se muestran los valores medidos de Pst para la distribuidora CLESA en 2023, registrándose varios puntos donde debe evaluarse la causa del incremento del valor arriba del límite establecido.

### 3.6.4 Distribuidora DEUSEM



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 74. Registro de distorsión armónica distribuidora DEUSEM en 2022



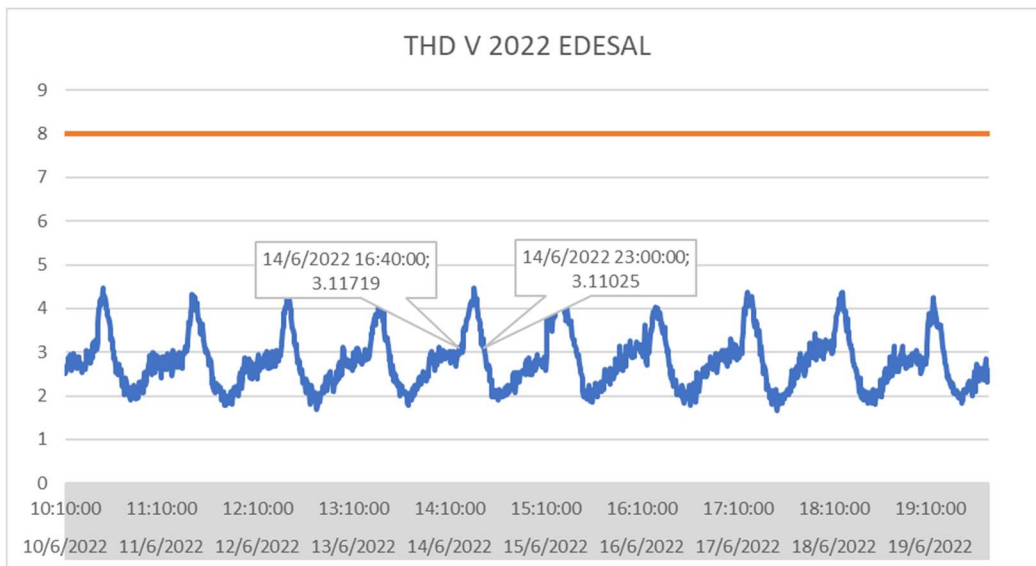
Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 75. Registro de Pst distribuidora DEUSEM en 2022

En la Fig.74 se encuentran graficados los valores medidos de THD V para la distribuidora DEUSEM para el año 2022, los valores no exceden el límite definido por la Normativa.

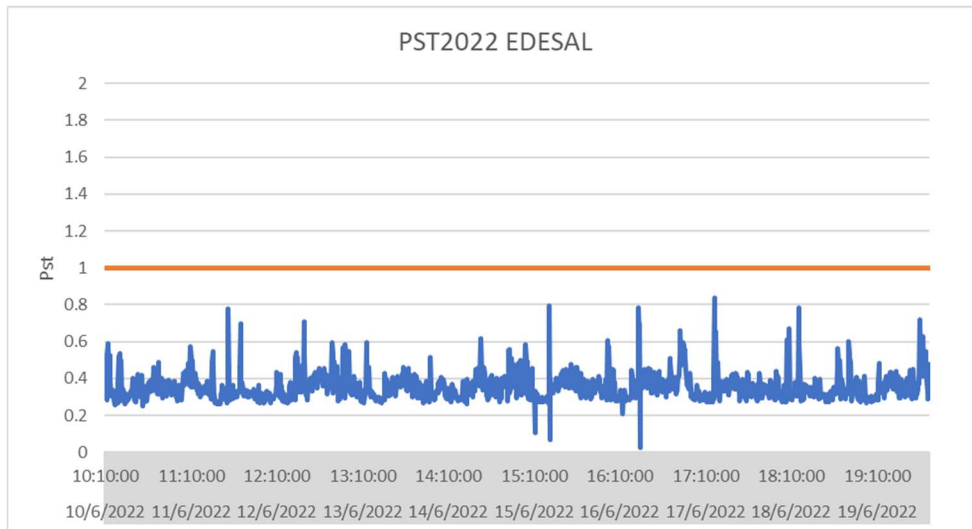
En la Fig.75 se muestran los valores de Pst en los cuales existen algunos registros excediendo el límite de la normativa.

### 3.6.5 Distribuidora EDESAL



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 76. Registro de distorsión armónica distribuidora EDESAL en 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 77. Registro de Pst distribuidora EDESAL en 2022

En la Fig.76 se muestra el registro de mediciones THD V para 2022 en la distribuidora EDESAL, no se registran valores superiores al límite; para esta distribuidora la SIGET posee solo valores de dicho año. (*SIPV No. 075-2023 Resolucion.pdf, s. f.-a*)

En la Fig. 77 se muestran los valores de Pst los cuales no exceden el límite de la normativa.

## CAPITULO 4. TECNICAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGIA

### 4.1 Análisis de los resultados obtenidos en la investigación

En el análisis realizado de los indicadores de calidad de la energía, se encontraron que en algunos años las distribuidoras han cumplido con los indicadores, sin embargo, en los últimos tres años no; se observa que no se ha dado una mejora, por lo tanto, las distribuidoras deben realizar ciertos cambios en las actividades que se están haciendo actualmente para la mejora de ellos.

En los siguientes apartados se establecerán propuesta que se podrían realizar para mejorar los indicadores de calidad de la energía, estableciendo nuevos límites por parte el ente regulador y a su vez las distribuidoras deberán establecer estrategias nuevas que permiten que pueden disminuir los indicadores y así cumplir los nuevos límites.

#### 4.1.1 Indicadores relacionados con interrupciones

Los indicadores de calidad de la energía relacionados con las interrupciones son FMIK, TTIK, SAIFI y SAIDI, los cuales fueron presentados en el capítulo 3 para el periodo del año 2017 al año 2022.

Estos 4 indicadores nos permiten determinar qué valor de calidad de energía está entregando cada distribuidora, Los datos deben ser reportadas a la SIGET de manera mensual, semestral y anual en cumplimiento con el Anexo B de la Metodología para el Control de la Calidad del Servicio Técnico. (*Anexo\_B\_Metodologia\_de\_Control\_Calidad\_Servicio\_Tecnico.pdf*, s. f.)

No cumplir con los límites de los indicadores establecidos por el reglamento conlleva a una compensación que las distribuidoras deben realizar a los clientes según lo establecido en el Título VII de Compensaciones de la Norma. (*Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribucion.pdf*, s. f.)

Los montos que las Distribuidoras reconocen como Compensaciones pueden reducirse si se implementan proyectos de confiabilidad del Sistema Eléctrico que permitan robustecerlo y hacerlo resistente a fallas. Estos proyectos requieren inversión de capital, lo cual es registrado por la Distribuidoras y reportado a SIGET a fin de poderlo incluir en la tarifa de electricidad que el usuario paga, siendo la parte que lo considera el cargo por distribución.

Las técnicas utilizadas actualmente por las distribuidoras, las cuales se ejecutan con el objetivo a cumplir y mejorar los indicadores de SAIFI y SAIDI de los cuales se mencionan en los capítulos 3.3.3 y 3.3.4, ya que tiene impacto tanto en la duración como en la cantidad de fallas y son:

1. Plan de poda de árboles en el área de las líneas de distribución.
2. Formación de cuadrillas de trabajo para atención de fallas en los circuitos donde se reportan interrupciones.
3. Cambio de activos según planificación. Activos como transformadores, reclosers, fuse savers, aisladores.
4. Mejoras en la topología de la red de distribución a fin de asegurar el suministro de energía eléctrica aun en condiciones de mantenimiento o falla en un circuito de alimentación hacia un grupo de clientes.

5. Definir los estándares de calidad y certificaciones de los equipos transformadores, aisladores, reclosers) y dispositivos (fusibles, conectores) utilizados en los circuitos de distribución.

Estas técnicas conllevan costos de operación y mantenimiento que son considerados dentro del cargo por distribución que va incluido en la tarifa y cuyo monto es auditado por SIGET.

Conforme a lo establecido en el artículo 67 de la Ley General de Electricidad, el método para la determinación de los cargos por el uso de sistema de distribución, debe tomar en cuenta entre otros “los costos medios de inversión, operación y mantenimiento de una red de distribución eficientemente dimensionada y operada”, con base a lo anterior, la SIGET determina cargos de distribución de forma quinquenal incluyendo la anualidad de las inversiones que cada empresa distribuidora ha realizado desde la fijación de anterior, lo cual incluye a las inversiones realizadas para la mejora de la calidad del servicio. (*SIPV No. 075-2023 Resolucion.pdf*, s. f.-b)

El impacto en la tarifa de implementar las técnicas para mejorar los índices de calidad servicio técnico se refleja en los cargos de distribución, como ejemplo en la Tabla 5 se muestran los pliegos tarifarios para pequeña demanda vigentes para El Salvador en el periodo del 15 de julio al 15 de octubre de 2023.

Para el cálculo del cargo por distribución se toma en consideración un año base. En ese año base se estiman los costos anuales de la distribuidora y se divide entre la potencia demandada en ese año por los usuarios de la distribuidora, de esto resulta un valor de \$/kW. La fórmula resultante es de Costos de Distribución/Potencia Total distribuida. Las inversiones incluyen los costos anuales de operación, mantenimiento y/o administración de la red de distribución propiedad de la distribuidora más la anualidad de los activos de distribución. La anualidad es un concepto financiero en el cual un activo con un costo total es dividido en anualidades en las que se toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo y el riesgo país, es decir, se calcula utilizando una tasa de descuento que la Ley General de Electricidad determina como del 10% (Artículo 68 de la Ley General de Electricidad). Los activos de distribución lo constituyen todos los bienes muebles e inmuebles de la distribuidora que son utilizados para prestar el servicio, camiones, autos, edificios, sistemas de IT, transformadores, subestaciones, postes, equipos de protección, control y maniobra entre otros. (*Ley General de Electricidad.pdf*, s. f.)

Tabla 5. Pliego tarifario para baja demanda vigente en el período del 15 de julio al 15 de octubre de 2023.

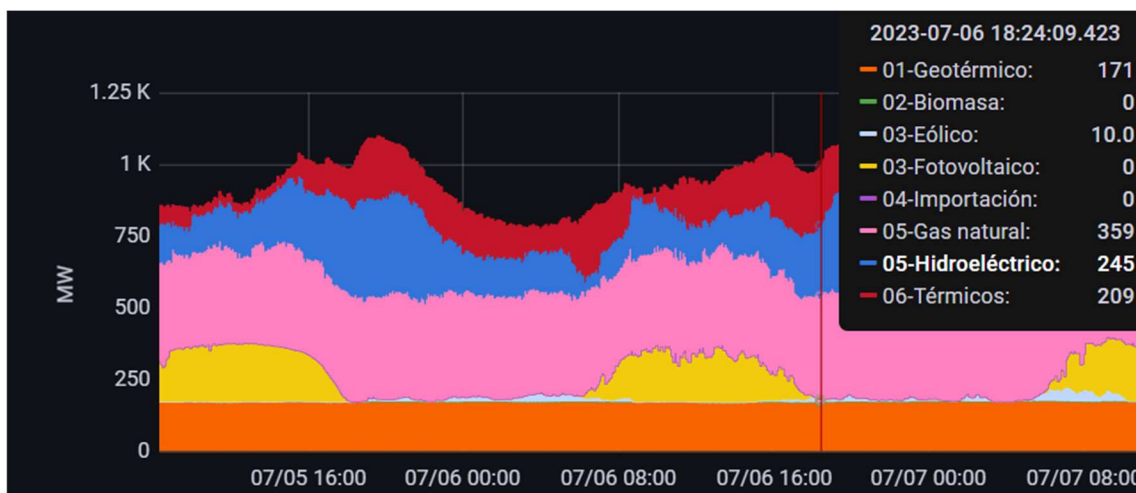
I. PEQUEÑAS DEMANDAS (0 < kW ≤ 10)									
BAJA TENSION									
a) Tarifa Residencial para consumos menores de 99 kWh/mes - BT									
Bloque 1: Primeros 99 kWh/mes									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.837715	0.979692	0.759466	0.891345	0.792871	1.581505	0.867936	0.995852
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.155505	0.151700	0.156755	0.155294	0.158890	0.146395	0.158037	0.137940
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.032119	0.051952	0.065141	0.069640	0.081671	0.066055	0.040568	0.039656
Bloque 2: Consumos entre 100 kWh/mes y 199 kWh/mes									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.837715	0.979692	0.759466	0.891345	0.792871	1.581505	0.867936	0.995852
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.155567	0.151063	0.156124	0.155888	0.158931	0.144500	0.158235	0.137557
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.036437	0.065378	0.030477	0.037589	0.040471	0.117081	0.035955	0.043405
Bloque 3: Consumos mayores o iguales a 200 kWh/mes									
		CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.837715	0.979692	0.759466	0.891345	0.792871	1.581505	0.867936	0.995852
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.154197	0.150229	0.155262	0.155482	0.158192	0.144794	0.158235	0.137216
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.048087	0.080377	0.090206	0.085280	0.091716	0.137529	0.037964	0.045186
Uso General									
		CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.837715	0.979692	0.759466	0.891345	0.792871	1.581505	0.867936	0.995852
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.152422	0.148907	0.153511	0.152837	0.154531	0.140830	0.150241	0.136470
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.038882	0.047574	0.045137	0.066839	0.070215	0.193494	0.037519	0.035747
Alumbrado Público									
		CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Carga de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.837715	0.979692	0.759466	0.891345	0.792871	1.581505	0.867936	0.995852
Carga de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.135704	0.127686	0.127447	0.124561	0.123448	0.141814	0.158345	0.139887
Carga de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.038651	0.055582	0.069218	0.071978	0.075810	0.110995	0.044483	0.035768

Fuente: Sitio web de la SIGET. Pliego tarifario vigente

#### 4.1.2 Indicadores relacionados con la forma de onda

En El Salvador se ha tenido un incremento de fuentes de energía renovable no convencional, específicamente fotovoltaica y eólica, en los últimos seis años, sin embargo, con los registros de mediciones obtenidos se identifica que las distorsiones se presentan en horarios donde los sistemas fotovoltaicos no se encuentran operativos. Como se muestra en la Fig. 78 las plantas fotovoltaicas están fuera de operación después de las 6 p.m.

En las figuras 66,69,72,74 y 76 se muestra que los valores de THD reportados por las distribuidoras a la SIGET inician un incremento después de las 6pm hasta alrededor de las 10pm. Este patrón de distorsión por las noches ya se presentaba en 2014 por lo que se considera que está relacionado con el uso de electrodomésticos y al uso de iluminación LED con sus respectivos drives que utilizan electrónica de potencia para su operación lo que introducen los niveles de distorsión registrados.



Fuente: Sitio web de la UT. Datos del 7 de julio de 2023

Figura 78. Hora en que los sistemas fotovoltaicos no inyectan a la red

En las plantas de sistemas fotovoltaicos, si bien utilizan electrónica de potencia en sus inversores, se han instalado equipos actualizados que poseen restricciones de fabrica para no introducir armónicos a la red como el caso de la planta de 140MW instalada en el departamento de Usulután, la cual consta de inversores SMA SC2500 con limitación de inyección de distorsión de armónicos < 3%. (*Hoja técnica del SMA 2200 SP.pdf*, s. f.)

## 4.2 Propuesta de actualización de indicadores

Con la categorización de los indicadores de la sección 4.1, en donde se determinan indicadores relacionados con interrupciones y otros con calidad de energía, se proponen ajustes en las secciones a continuación.

### 4.2.1 Indicadores relacionados con las interrupciones

Considerando que la tabla actual de indicadores se estableció en el contexto de hace aproximadamente dos décadas y que las redes de distribución se han robustecido tanto por el mantenimiento realizado a los activos de las distribuidoras así como las mejoras en topología y cambio de equipos que han permitido mejorar los indicadores en muchos de los casos, se propone el siguiente esquema de actualización de los valores límite de los indicadores en dos etapas con un periodo de cinco años entre ellas para permitir el análisis de resultados anual y ajuste de estrategias de planificación de mantenimiento para lograr los indicadores en cumplimiento con la Normativa.

La propuesta es cambio de los límites, dicha modificación busca asegurar que las distribuidoras entreguen una mejor calidad de energía a los usuarios, lo cual es gestionado y exigido por el regulador, se busca además homologar los límites con los países de la región que poseen ya los límites más retadores que buscan la entrega de energía con mejores parámetros de confiabilidad. Para estas propuestas se ha considerado el criterio que la SIGET implementa para la definición del valor de los límites, el cual es por comparación con los valores de la región. (*SIPV No. 050-2023. Resolución.pdf*, s. f.)

En la tabla 6 se propone que en la primera etapa se adopte el indicador FMIK de Chile para cambiar de 5 a 3.5; el indicador TTIK se adopte el valor de Nicaragua para cambiar de 10 a 9.2; en el indicador SAIFI adoptar el límite de Guatemala para cambiar de 7 a 6 y el indicador SAIDI adoptar el límite urbano de Guatemala para reducir de 12 a 10 el indicador.

Tabla 6. Valores propuestos de indicadores. Etapa 1

Tipo de área	Alta densidad		Baja densidad	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
FMIK	5	3.5	12	11
TTIK	10	9.2	24	22
SAIFI	7	6	12	10
SAIDI	14	12	24	22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Valores propuestos de indicadores. Etapa 2

Tipo de área	Alta densidad		Baja densidad	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
FMIK	5	1.5	12	10
TTIK	10	6	24	20
SAIFI	7	4.5	12	8
SAIDI	14	8	24	20

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se muestra los límites a los indicadores propuestos para la etapa 2 donde el FMIK llega a 1.5 como lo es en Panamá; el TTIK se llegaría a 6 como en Panamá; el SAIFI llegando a 4.5 como en Chile y el SAIDI a 6 como lo tiene Costa Rica.

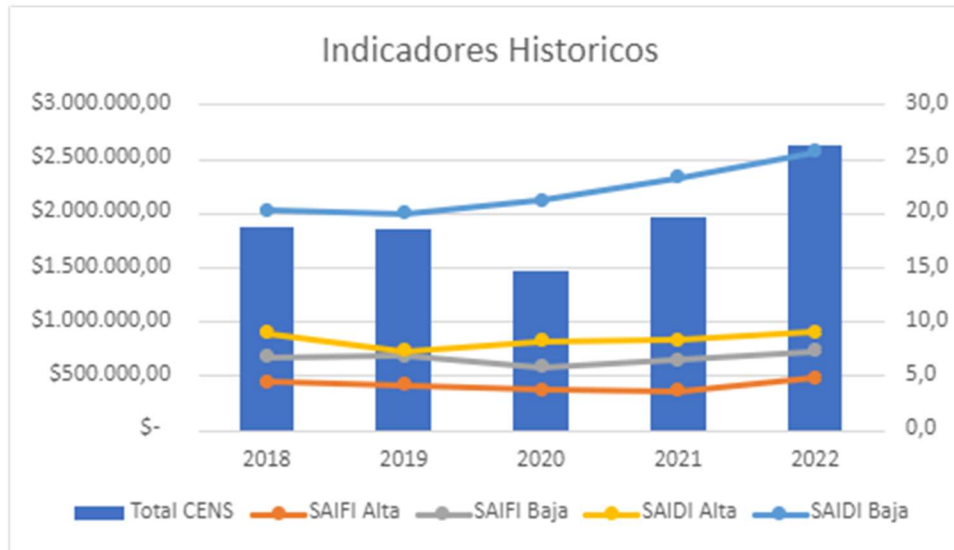
#### 4.2.2 Indicadores relacionados con la distorsión de forma de onda.

Para el caso de los límites para la distorsión armónica se considera que ya se encuentran adoptados los estándares recomendados y definidos en los países de la región por lo que se propone mantenerlos en THD V= 8% y para la distorsión de corriente de 20%.

#### 4.3 Técnicas para mejorar los problemas detectados en la investigación

Para poder obtener mejor calidad de energía y a su vez cumplir con límites de indicadores más bajos las distribuidoras deben comenzar a implementar nuevas técnicas.

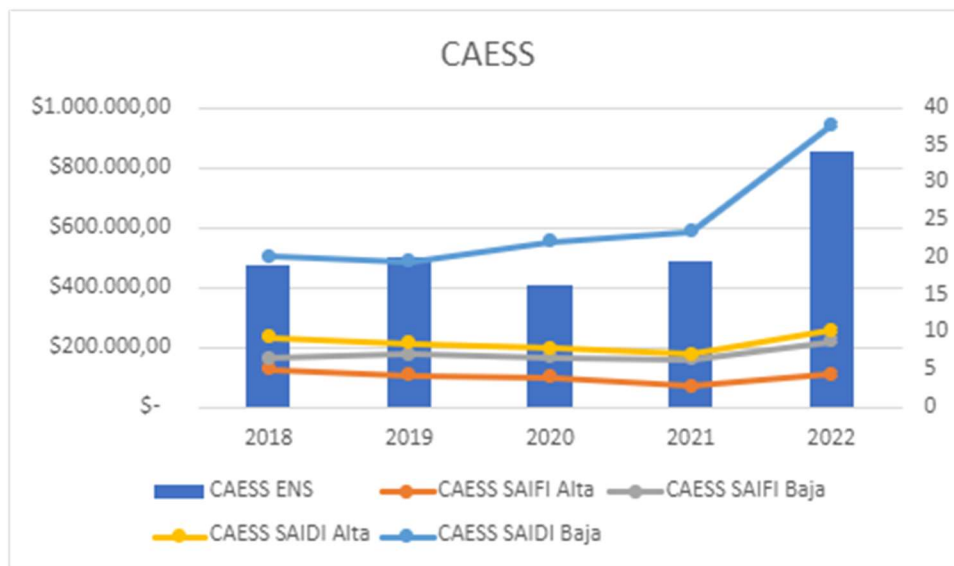
Debido a que analizando los datos de los últimos 5 años en la Fig. 79 se muestran los indicadores de Costo de Energía no Servida, SAIFI y SAIDI de manera total en El Salvador, en la cual se puede observar que existe una relación con la tendencia de los 3 indicadores si SAIFI y SAIDI aumenta también el CENS es decir que las distribuidoras estos últimos años han tenido que compensar más a los clientes.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 79. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de El Salvador

En la Fig. 80 se observa que en la distribuidora CAESS desde el 2018 al 2022 los indicadores SAIFI y SAIDI ha ido aumentando al igual que el CENS.

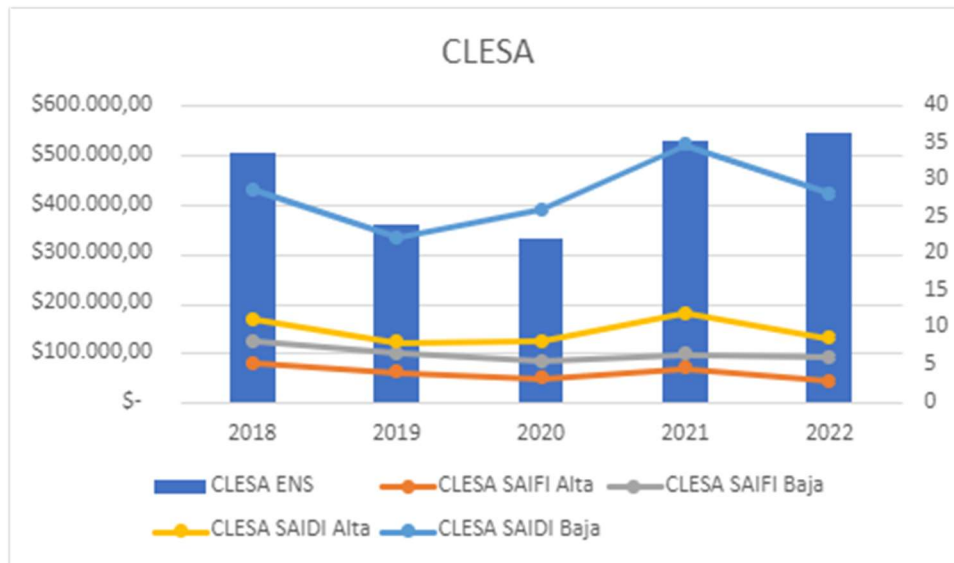


Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 80. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribuidora CAESS.

En la Fig. 81 se observa que en la distribuidora CLESA desde el 2018 al 2021 los indicadores SAIFI y SAIDI ha ido aumentando al igual que el CENS, aunque en el 2022 el registro indica que los

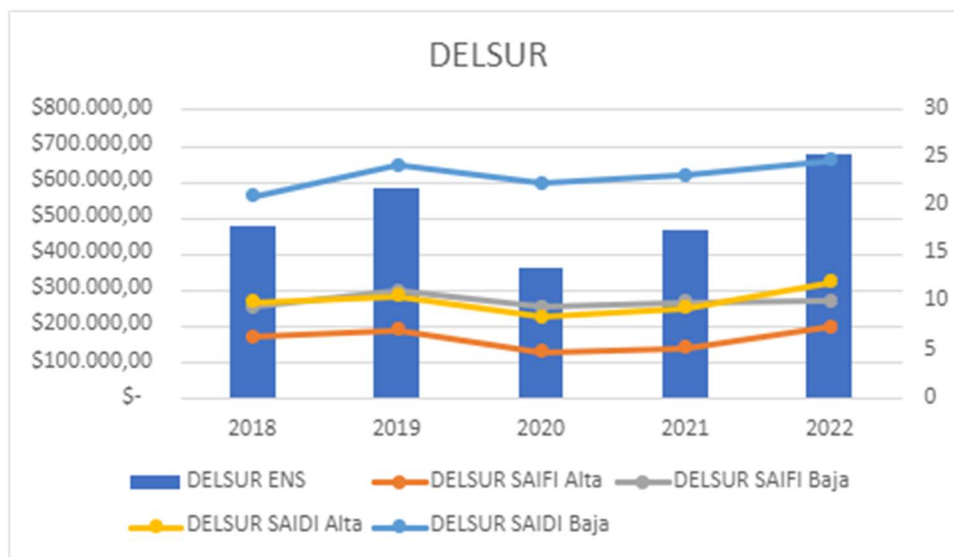
indicadores fueron menores a los del año anterior pero el CENS aumento probablemente debido a que se dio alguna falla grande en ese año.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 81. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribidora CLESA.

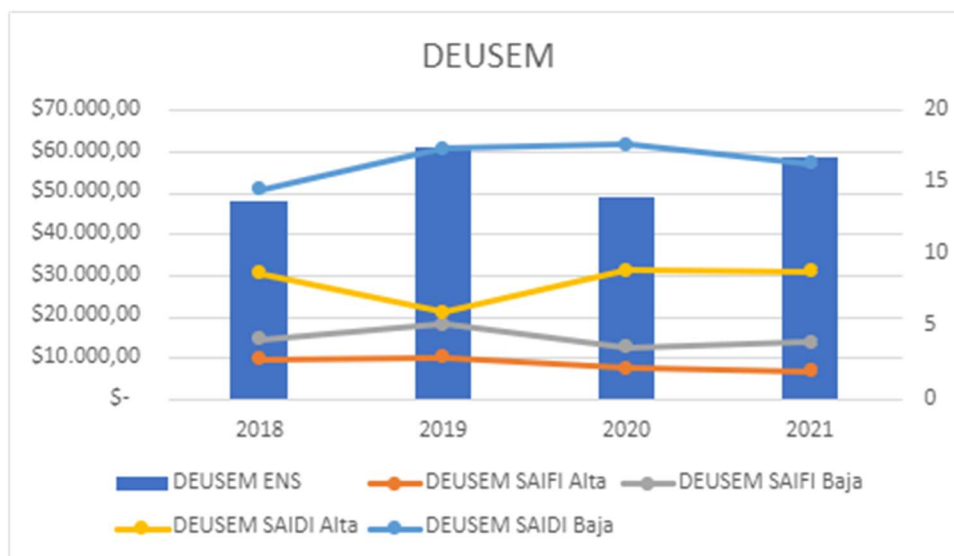
En la Fig. 82 se observa que en la distribidora DELSUR desde el 2018 al 2022 los indicadores SAIFI y SAIDI ha tenido una tendencia a aumenta al igual que el CENS.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 82. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribidora DELSUR.

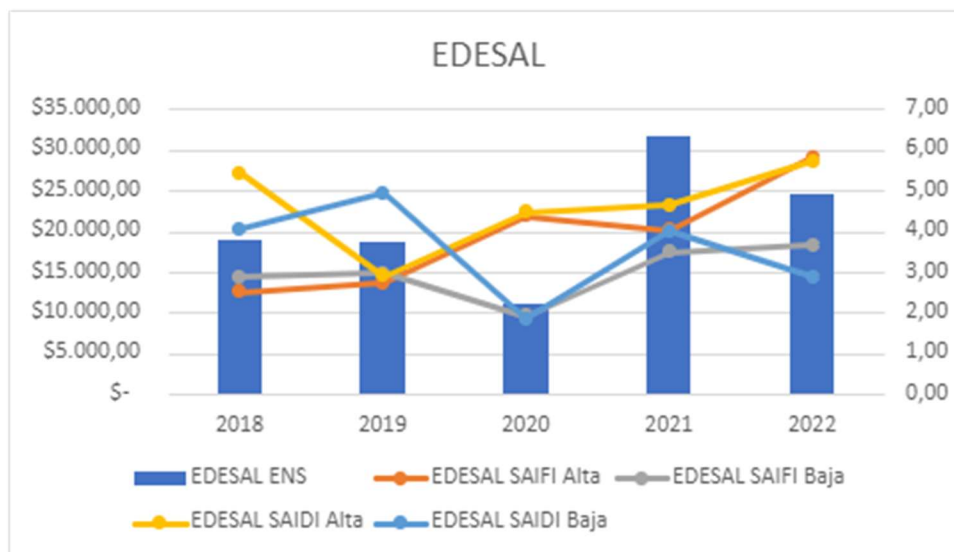
En la Fig. 83 se visualiza que en la distribuidora DEUSEM desde el 2018 al 2021 los indicadores SAIFI y SAIDI han aumentado y también los CNES han aumentado en estos últimos años, solamente en el 2020 se logró disminuir.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 83. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribuidora DEUSEM.

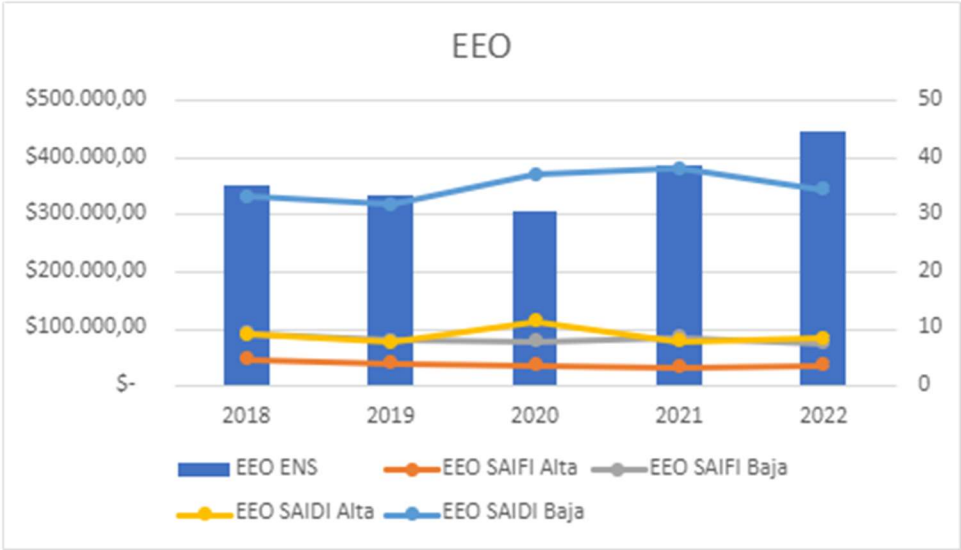
En la Fig. 84 se observa que en la distribuidora EDESAL desde el 2018 al 2022 los indicadores SAIFI y SAIDI han aumentado, excepto en el 2020 que lograron disminuir, ese año se tuvo la pandemia del COVID-19, el cual tuvo una influencia en el uso de la energía y también los CNES han aumentado en estos últimos años, solamente en el 2020 se logró disminuir.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 84. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribuidora EDESAL.

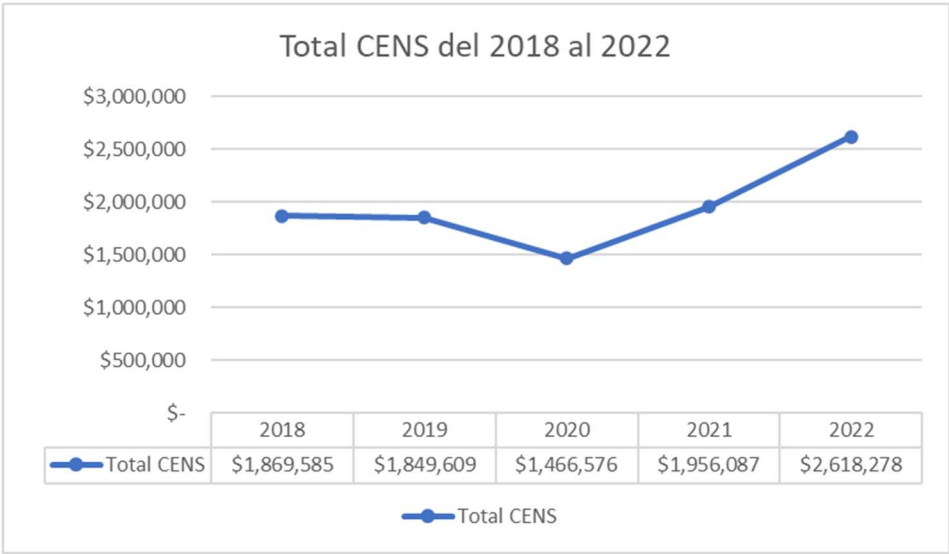
En la Fig. 85 se observa que en la distribuidora EEO desde el 2018 al 2022 los indicadores SAIFI y SAIDI no han logrado tener una tendencia de mejora y también los CNES han aumentado en estos últimos años, solamente en el 2020 se logró disminuir, ese año se tuvo la pandemia del COVID-19, el cual tuvo una influencia en el uso de la energía, por lo tanto, es un año atípico.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 85. Registro de Indicadores de los últimos 5 años de la distribuidora EEO.

Como se muestra en las gráficas anteriores a pesar de los años la calidad de energía no ha tenido una tendencia a mejorar incluso en los últimos 2 años (2021 y 2022) se ha degradado comparándolo con los años 2018 y 2019, por lo tanto, las distribuidoras deberían incluir nuevas técnicas o equipos que les ayuden a mejorar la calidad.



Fuente: Elaboración propia con datos de resolución SIGET 075-2023

Figura 86. Registro de CENS en los últimos 5 años.

En la Fig. 86 se observa como el CENS tiene una tendencia ascendente en los últimos años, solamente en el 2020 logro reducirse, pero este es un año atípico debido a la pandemia, por lo tanto, podemos decir que si no se realizan acciones nuevas este costo podría seguir aumentando.

Actualmente las distribuidoras eléctricas aplican diferentes técnicas de mantenimiento y proyectos de inversión para mejorar los indicadores de calidad y disminuir las compensaciones de costo de energía no servida.

En los proyectos de inversión se podrían considerar construcción de nuevos tramos de línea, recalibración de conductor, cambio de postes y estructuras, instalación de nuevos equipos y subestaciones nuevas.

En el caso de los mantenimientos tanto en líneas como en los equipos se realizan inspecciones especializadas (Termografía, ultrasonido y drones), mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos en diferentes tramos, podas, patrullaje y corrección de condiciones detectadas en la inspección.

Sin embargo, lo que se ha comprobado es que en los últimos años no se ha logrado bajar los indicadores con las técnicas aplicadas, por lo tanto, ante un ajuste en los límites en los indicadores de calidad para hacerlos más retadores, deben mejorarse las técnicas estudiando incluso la implementación de las siguientes dos propuestas:

Para lograr la calidad de energía buscada por los límites de indicadores, principalmente en los indicadores SAIFI y SAIDI mencionados en el capítulo 3, se pueden aplicar las técnicas desarrolladas en las secciones 4.3.1 y 4.3.2.

#### **4.3.1 Smart Grid**

Las "Smart Grid" se refiere a la parte de la red inteligente que se aplica al sistema de distribución de servicios públicos, es decir, los cables, interruptores y transformadores que conectan la subestación de servicios públicos con los clientes. Las líneas eléctricas que atraviesan los patios traseros de las personas son una parte del sistema de distribución de energía.

Un componente clave de la smart grid o redes inteligentes es la detección y respuesta a interrupciones. Actualmente, muchas empresas de servicios públicos confían en las llamadas telefónicas de los clientes para saber qué áreas de su sistema de distribución se ven afectadas por un corte de energía.

Junto con los medidores inteligentes, la inteligencia de distribución ayudará a identificar rápidamente la fuente de un corte de energía para que los equipos de reparación puedan enviarse de inmediato al área problemática. La respuesta a los cortes de energía de una empresa de servicios públicos también puede mejorar.

La mayoría de las empresas de servicios públicos cuentan con esquemas complejos de distribución de energía y conmutación manual para mantener el flujo de energía para la mayoría de sus clientes, incluso cuando las líneas eléctricas están dañadas y destruidas. Sin embargo, este enfoque tiene sus limitaciones y, en muchos casos, un sistema automatizado podría responder más rápidamente y podría mantener el flujo de energía para más clientes. Al tener sensores que pueden indicar cuándo partes del sistema de distribución han perdido energía y al combinar la conmutación automática con

un sistema inteligente que determina la mejor manera de responder a un corte, la energía se puede redirigir a la mayoría de los clientes en cuestión de segundos, o quizás incluso milisegundos. Incluso puede ser posible reaccionar lo suficientemente rápido a las perturbaciones de energía para que solo se vean afectados aquellos en el vecindario inmediato, mientras que la fuente de energía de otros clientes se desvía lo suficientemente rápido para evitar cualquier interrupción en la energía. Esta capacidad podría ser el primer ejemplo del muy promocionado aspecto de "auto recuperación" de Smart Grid en acción. (*Distribution Intelligence*, 2019)

Para poder implementar esta técnica se requiere de una gran inversión, sin embargo, también ayudaría a reducir las fallas y la duración de esta la cual permitirá a las empresas distribuidoras de energía dar compensaciones menores por CENS y también no tener compensaciones por incumplimiento a los indicadores de calidad de energía.

En El Salvador la Distribuidora CAESS monto en 2021 la primera red 100% inteligente "Smart Grid" ubicada en la colonia Escalón de San Salvador, para lo cual invirtió \$300 mil dólares.

Los beneficios que se logran con esta red son:

Prevención de fallas, contribuye a la detección predictiva de las fallas en los equipos de la red de distribución, permitiendo brindar un mantenimiento oportuno y reducir considerablemente las interrupciones en el servicio.

Agilidad en la atención: la red inteligente localiza de manera inmediata el origen de las fallas que afectan el suministro de energía, permitiendo atenderlas de forma automatizada y garantizar la continuidad del servicio en el menor tiempo posible. Asimismo, los equipos que integran la red inteligente pueden programarse previamente para ser capaces de resolver de forma autónoma las incidencias.

Optimización del servicio 24/7, los equipos conectados en la red inteligente envían información 24/7 en tiempo real sobre su estado y funcionamiento, permitiendo al Centro de Control tomar decisiones estratégicas que garantice la energía que reciben los clientes sea óptima y segura. (*AES instala primera red 100% inteligente | AES El Salvador*, s. f.)

El grupo AES destinará 3.3 millones de dólares en el desarrollo y operación de 12 nuevos proyectos de redes inteligentes en diferentes puntos del país.

(*AES recibe reconocimiento por construir la primera red 100% inteligente de Centroamérica | AES El Salvador*, s. f.)

DELSUR invertirá 25 millones de dólares antes de 2025 en temas como la Modernización de la red en áreas de digitalización, AMI (Advanced Metering Infrastructure), redes inteligentes, universalización del suministro de energía, inteligencia de negocios, mejora en la atención de clientes, etc. (*DELSUR invertirá \$25 millones en sus planes de modernización para el período 2021-2025 – Distribuidora de Electricidad DELSUR S.A de C.V.*, s. f.)

En los próximos 5 años las diferentes distribuidoras ya tienen proyectos de inversión definidos, los cuales se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Proyectos de inversión por Distribuidora relacionados con Smart Grid

Distribuidora	Proyectos de Inversión	Monto de proyectos
Grupo AES (CAESS, CLESA, EEO, DEUSEM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectos de modernización y transformación de la red de distribución eléctrica.</li> <li>• Renovación de 62 mil medidores de energía.</li> <li>• Ampliación de la capacidad de energía en puntos estratégicos del país.</li> <li>• Desarrollo de proyectos de mejora de la calidad de servicio.</li> <li>• Adquisición de nuevas tecnologías y equipos de diagnóstico.</li> <li>• Proyectos de electrificación rural y Normalización de Líneas a Terceros (NLT).</li> <li>• Conexión de nuevos clientes y expansión de redes.</li> <li>• Expansión de la flota de vehículos eléctricos a 27.</li> <li>• Adquisición de equipos de detección y comunicación automatizada.</li> <li>• Construcción de redes inteligentes.</li> <li>• Expansión de la tecnología AMI - Advanced Metering Infrastructure – para analizar los datos de consumo energético de los clientes.</li> <li>• Modernización en la infraestructura del monitoreo de la red eléctrica en tiempo real, para la detección y atención de fallas de forma ágil y oportuna.</li> <li>• Digitalización e inteligencia artificial en los sistemas comerciales de autogestión.</li> <li>• Modernización de los sistemas de gestión de medidores y clientes.</li> </ul>	\$217 Millones
DELSUR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de capacidad Subestación Lourdes, Nueta, Ateos, Quezaltepeque, Comalapa, Pedregal, San Marcos, San Marcelino entre otras y una nueva subestación en la zona de la flecha.</li> <li>• Surf City con un proyecto ambicioso de reposición y expansión de redes, adicional a redes subterráneas, iniciando con el casco urbano Puerto de la Libertad y remodelación en la zona costera con una inversión cercana a los \$25MM para 2024 y 2025. En la misma línea de construcción de redes subterráneas, se acompañará también proyectos adicionales que oscilan en los US\$ 2MM.</li> <li>• Los proyectos de innovación y digitalización se menciona el monitoreo remoto de subestaciones, para completar el 50% del plan (8 subestaciones), se realizará una inversión de \$560,000.00, teniendo como meta al 2024 es cubrir las 16 subestaciones más importantes del sistema.</li> </ul>	\$100 millones

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectos de electrificación en las zonas rurales con una inversión de casi US\$1 MM</li> <li>• Se invertirá más de 10MM de dólares en proyectos, como la actualización de SCADA/OMS/DMS que traerá mejoras a la operación de la red eléctrica, un nuevo ERP para soportar de mejor manera los procesos financieros, la herramientas BI y Analíticos que aportarán a la toma de decisiones, la digitalización Comercial donde incorporan nuevas herramientas para mejorar la experiencia de los clientes.</li> </ul>	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia con datos de las páginas web de las Distribuidoras

Los países y regiones que están logrando avances notables en el despliegue de redes inteligentes incluyen:

**La Comisión Europea** presentó el plan de acción de la UE “Digitalización del sistema energético” a finales de 2022. La Comisión espera alrededor de 584 mil millones de euros (633 mil millones de dólares) de inversiones en la red eléctrica europea para 2030, de los cuales 170 mil millones de euros (633 mil millones de dólares). 184 mil millones) se destinarían a la digitalización (contadores inteligentes, gestión automatizada de la red, tecnologías digitales para la medición y mejora de las operaciones sobre el terreno).

**China** planea modernizar y ampliar sus redes eléctricas con 442 mil millones de dólares en inversiones durante el período 2021-2025.

**Japón** anunció en 2022 un programa de financiación de 155 mil millones de dólares para promover inversiones en redes eléctricas inteligentes.

**India** lanzó en 2022 un plan de 3,03 billones de rupias indias (~38 mil millones de dólares) para apoyar a las empresas de distribución de energía y mejorar la infraestructura de distribución.

**Estados Unidos** anunció en 2022 el Programa de Asociación Innovadora para la Resiliencia de la Red (GRIP), con una oportunidad de financiación de 10.500 millones de dólares para apoyar la mejora y expansión de las redes eléctricas estadounidenses.

**Canadá** está invirtiendo 100 millones de dólares a través de su Programa Smart Grid para apoyar el despliegue de tecnologías de redes inteligentes y sistemas integrados inteligentes. (*Smart Grids*, s. f.)

#### 4.3.2 Generación distribuida

La generación distribuida o descentralizada es una parte fundamental en una Smart City. Consiste en la generación de energía eléctrica mediante muchas pequeñas fuentes de generación que se instalan cerca de los puntos de consumo. La generación distribuida se basa en la cooperación entre esta microgeneración y la generación de las centrales convencionales.

Esta distribución hace que la generación sea más equilibrada, y que la Smart City no dependa tanto de las grandes centrales. Además, la microgeneración implica el uso de las energías renovables, lo que contribuye a reducir las emisiones de CO2.

En la actualidad los sistemas electrónicos utilizados para el desarrollo de las energías renovables no convencionales como la solar y la eólica se enfrentan al reto de ser intermitentes, se requiere aun

en el mediano plazo de fuentes de energía de transición, que permitan la estabilidad y confiabilidad al sistema eléctrico; estas plantas pueden ser operadas con combustibles de menor impacto medioambiental al de los combustibles fósiles como lo es el caso del gas natural. A largo plazo se espera que la implementación de generación distribuida provea una sustitución confiable de las grandes plantas convencionales de generación. (*7.2 Distributed Generation - Knovel, s. f.*)

El propósito de los entes administradores de las redes nacionales de electricidad es reducir los costos de producción y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico. Un aspecto importante en el desarrollo e implementación de los sistemas de generación distribuida es su impacto en el medio ambiente, así como su corto periodo de construcción o montaje.

Las ventajas principales de la generación distribuida son:

1. Reduce las pérdidas en la red eléctrica. Estar más cerca del consumidor supone que las redes de transporte sean más cortas. Por lo tanto, la generación distribuida supone menos pérdidas de energía en el transporte de la electricidad desde la generación hasta el consumidor. Esto también influye en el ahorro a la hora de elevar la tensión eléctrica para su transporte.
2. Mejora la fiabilidad y la calidad del sistema eléctrico. Como hay pequeñas fuentes de generación (microgeneración), repartidas por el territorio, el fallo de una de las fuentes no supone un grave problema para el sistema eléctrico.
3. Las unidades de microgeneración suelen En la generación distribuida está muy presente las energías renovables tener potencias inferiores a 3 kW, aunque en general se suele decir que no sobrepasan los 10 kW de potencia instalada.
4. , ya que son las más adecuadas para ubicarse cerca de los puntos de consumo.

Esta técnica se aplica desde la generación, pero esto también permitiría reducir las pérdidas en las redes de distribución y por lo tanto también sería un ahorro para las empresas distribuidoras. Adicionalmente a esto podría mejor el SAIDI ya que las fallas podrían ser más cortas y esto también mejoraría la tasa de falla (*Generación distribuida, s. f.*)

En El Salvador se cuenta con 390.75 MW de capacidad instalada en generadores de electricidad conectados en Distribución, de los cuales 338.24 MW corresponden a generación fotovoltaica. (*BOLETIN-ESTADISTICAS-ELECTRICAS-2022.pdf, s. f.*)

El aporte de la generación distribuida, la cual es generada por recursos renovables impacta positivamente en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y la reducción del consumo de energía generada por combustibles fósiles, sin embargo el impacto a la disponibilidad de recurso en distribución debe considerar los correctos ajustes de los parámetros a fin de evitar desconexiones que provoquen inestabilidad en el sistema como se expone en la sección 3.5 Desempeño de las plantas solares en la red de distribución ante fallas y su impacto en las interrupciones.

El desarrollo de mejores sistemas de aprovechamiento de los recursos como el solar y el viento, incluyendo en ello el almacenamiento permitirán a largo plazo el desarrollo pleno de la generación distribuida cumpliendo con la calidad y confiabilidad requerida por el usuario.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

5.1.1 Como se presenta en el capítulo 2, en El Salvador se cuenta con unas Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución que incluye límites para los indicadores de calidad de energía que fueron definidos por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) como ente regulador en 2014 y no ha tenido actualizaciones por 9 años. La SIGET utiliza la comparación con los países de la región para la definición de dichos indicadores y actualmente son menos retadores como se muestra en la Tabla 1.

5.1.2 Con respecto al impacto de la generación renovable variable, particularmente fotovoltaica y eólica, en las Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución se definen indicadores tanto para la la calidad del suministro, que está relacionado principalmente con las interrupciones, así como con el servicio técnico prestado, incluyendo este último a las perturbaciones en la forma de la señal. Como quedó en evidencia en los registros obtenidos de consultas a la SIGET y presentados en la sección 3.6, el impacto del ingreso a la matriz de generación de energía eléctrica de las plantas fotovoltaicas y eólicas en los parámetros de forma de calidad de energía es bajo, ya que no hay una variación significativa en los datos analizados en las horas que están inyectando a la red estas plantas. Esto confirma que los filtros de armónicos que los inversores listan en sus hojas técnicas son efectivos. Para el caso de las interrupciones las incidencias son debido a otras fallas en los sistemas y no se han incrementado desde la entrada de las plantas solares o eólicas.

5.1.3 Las distribuidoras de energía implementan planes de mantenimiento enfocados en confiabilidad para la mejora de los indicadores de interrupciones, esto les permite cumplir con los límites establecidos por SIGET y ello representa ausencia de compensaciones que deben retribuirse al usuario, tal como se expone en la sección 4.3. Asegurar el cumplimiento de los límites para los indicadores es función del ente regulador y si las distribuidoras implementan estrategias para mejorar los indicadores de calidad como las redes inteligentes (Smart Grid) y la generación distribuida, las inversiones son trasladadas a tarifa que el usuario paga. Sin embargo, el objetivo es mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica.

5.1.4 La Ley General de Electricidad, presentada en la sección 4.1.1, establece el mecanismo actual de recuperación de inversión para las distribuidoras de lo que invierten en operación y mantenimiento por medio del cargo de distribución, este cargo forma parte de la tarifa autorizada por la SIGET para los usuarios del servicio eléctrico, y como se expresa en dicha sección, en este cargo se ve reflejado un porcentaje de las inversiones que realizan las distribuidoras para mejorar los indicadores de calidad a través de estrategias de confiabilidad y mejora continua del servicio prestado por las distribuidoras.

5.1.5 La SIGET como ente rector y poseedor pueda definir una metodología para realizar un análisis exhaustivo del impacto a la tarifa, ya que lo desarrollado es limitado debido a que no se posee información confidencial de las empresas del sector eléctrico de toda la información necesaria

## 5.2 Líneas de investigación recomendadas

5.2.1 Se propone una línea de investigación al modelo con el cual se reconoce, en el cargo por distribución, la inversión que las empresas distribuidoras realizan para mejorar la confiabilidad de la red, el cual es trasladado a tarifa.

5.2.2 Realizar un estudio de causa raíz del fenómeno registrado de distorsión armónica de voltaje que se registra actualmente en las primeras horas de la noche con la finalidad de encontrar sus posibles medidas de corrección y/o mitigación. Debido a que se registra en horas en las que no se cuenta con luz solar no se relaciona con la operación de la inyección de potencia por las plantas fotovoltaicas.

## BIBLIOGRAFIA

00 EVENTO\_03\_140223.pdf. (s. f.).

01 EVENTO\_19\_250523.pdf. (s. f.).

7.2 *Distributed Generation—Knovel*. (s. f.). Recuperado 15 de octubre de 2023, de

[https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:undefined/cid:kt011U3Y82/viewerType:khtml//root\\_slug:distribute-distributed/?view=collapsed&zoom=1&page=3](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:undefined/cid:kt011U3Y82/viewerType:khtml//root_slug:distribute-distributed/?view=collapsed&zoom=1&page=3)

*Actualizacion-del-plan-indicativo-de-la-expansion-de-la-generacion-diciembre-2014.pdf*. (s. f.).

*AES instala primera red 100% inteligente | AES El Salvador*. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de

2023, de <https://www.aes-elsalvador.com/es/aes-instala-primera-red-100-inteligente>

*AES recibe reconocimiento por construir la primera red 100% inteligente de Centroamérica | AES El*

*Salvador*. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2023, de <https://www.aes->

[elsalvador.com/es/aes-recibe-reconocimiento-por-construir-la-primera-red-100-](https://www.aes-elsalvador.com/es/aes-recibe-reconocimiento-por-construir-la-primera-red-100-inteligente-de-centroamerica)

[inteligente-de-centroamerica](https://www.aes-elsalvador.com/es/aes-recibe-reconocimiento-por-construir-la-primera-red-100-inteligente-de-centroamerica)

*Anexo\_B\_Metodologia\_de\_Control\_Calidad\_Servicio\_Tecnico.pdf*. (s. f.).

*BOLETIN-ESTADISTICAS-ELECTRICAS-2022.pdf*. (s. f.).

*CAESS | AES El Salvador*. (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2023, de <https://www.aes->

[elsalvador.com/es/caess](https://www.aes-elsalvador.com/es/caess)

*CLESA | AES El Salvador*. (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2023, de <https://www.aes->

[elsalvador.com/es/clesa](https://www.aes-elsalvador.com/es/clesa)

Consejo Nacional de Energía. (2020). *Política Energética El Salvador 2020—2050*.

*Curso Distorsión Armónica.pdf*. (s. f.).

*DELSUR invertirá \$25 millones en sus planes de modernización para el período 2021-2025 –*

*Distribuidora de Electricidad DELSUR S.A de C.V.* (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2023,

de <https://www.delsur.com.sv/delsur-invertira-25-millones-en-sus-planes-de-modernizacion-para-el-periodo-2021-2025/>

*DEUSEM | AES El Salvador.* (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2023, de <https://www.aes-elsalvador.com/es/deusem>

*Distribuidora de Electricidad DELSUR S.A de C.V. – El Salvador C.A.* (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2023, de <https://www.delsur.com.sv/>

*Distribution Intelligence: The Smart Grid | SmartGrid.gov.* (2019, diciembre 16). [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/distribution\\_intelligence.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/distribution_intelligence.html)

*EDESAL.* (s. f.). Recuperado 13 de agosto de 2023, de <https://edesal.com/>

*EEO | AES El Salvador.* (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2023, de <https://www.aes-elsalvador.com/es/eo>

*Generación distribuida.* (s. f.). Endesa. Recuperado 16 de julio de 2023, de <https://www.fundacionendesa.orghttps://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>

*GOE-RSGC016 Informe de evento en el sistema eléctrico de potencia.pdf.* (s. f.).

*Hoja técnica del SMA 2200 SP.pdf.* (s. f.).

*IEEE guide for electric power distribution reliability indices.* (2012). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

*IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.* (s. f.). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6826459>

*Ley General de Electricidad.pdf.* (s. f.).

*Masoum y Fuchs—2015—Impact of Poor Power Quality on Reliability, Relay.pdf.* (s. f.).

*Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribucion.pdf.* (s. f.).

*SIPV No. 050-2023. Resolución.pdf.* (s. f.).

*SIPV No. 075-2023 Resolucion.pdf*. (s. f.-a).

*SIPV No. 075-2023 Resolucion.pdf*. (s. f.-b).

*SIPV No. 149-2022. Resolución.pdf*. (s. f.).

*Smart grids*. (s. f.). IEA. Recuperado 15 de octubre de 2023, de <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>