

# Evolución y evaluación de la calidad de la energía en redes de distribución y subtransmisión

## *Evolution of power quality assessment methods for electrical distribution and subtransmission networks*

Nelson Alexey Castro Torres<sup>1</sup>\*, Eduardo Sierra Gil<sup>II</sup>, Eduardo López Pérez<sup>1</sup>, Frank Grau Merconchini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Oriente (UO). Santiago de Cuba, Cuba

<sup>II</sup> Universidad Ignacio Agramonte y Loinaz (UC), Camagüey, Cuba

\*Autor de la correspondencia: [ncastro@uo.edu.cu](mailto:ncastro@uo.edu.cu)

Recibido: 12 de junio de 2024

Aprobado: 14 de septiembre de 2024

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### RESUMEN/ ABSTRACT

En este trabajo se ofrece una periodización en los métodos empleados para evaluar la calidad como proceso y servicio, la evaluación de la calidad de la energía eléctrica en Cuba y el mundo y cuáles son los antecedentes, así como los hechos internacionales que permitieron su evolución. El estudio es descriptivo, correlacional y con enfoque cualitativo, el diseño fue no experimental (transversal); la revisión bibliográfica de la literatura especializada fue de 3158 artículos científicos y 491 tesis de doctorados, todos relacionados con el tema de investigación, evidenciándose que existe una relación significativa a nivel mundial con los criterios a tener en cuenta para evaluar la calidad de la energía eléctrica, aunque no existe un consenso en el método de cálculo para evaluar la misma, ya que los existentes se han desarrollado sobre la base de encuestas de satisfacción, métodos de ponderación y criterios de expertos.

**Palabras clave:** calidad de la energía eléctrica, calidad del producto técnico o calidad de la onda calidad del servicio técnico, calidad del servicio o calidad comercial.

*This work aims to offer a brief timeline of the methods used to evaluate quality as a process and service, the evaluation of the quality of electrical energy in Cuba and the world and what are the background and international events that allowed its evolution. The study is descriptive, correlational and with a qualitative approach, the design was non-experimental (cross-sectional); The bibliographic review of the specialized literature was of 3,158 scientific articles and 491 doctoral theses, all related to the research topic, showing that there is a significant relationship worldwide with the criteria to be taken into account to evaluate the quality of electrical energy. , although there is no consensus on the calculation method to evaluate it, since the existing ones are based on satisfaction surveys, weighting methods and expert criteria.*

**Keywords:** electrical energy quality, technical service quality, technical product quality or wave quality, service quality or commercial quality.

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad ha estado históricamente ligado al uso y consumo de la energía eléctrica, jugando un papel fundamental en el desarrollo sostenible, desde el punto de vista económico, social y ambiental, es un elemento primordial que posibilita el progreso y el crecimiento de la sociedad. Desde la liberalización de los mercados eléctricos, la electricidad ha pasado de ser un servicio a convertirse en un producto.

Cómo citar este artículo:

Nelson Alexey Castro Torres y otros. Evolución y evaluación de la calidad de la energía en redes de distribución y subtransmisión. Ingeniería Energética. 2024. 45 (3), septiembre/diciembre. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

De este modo el producto electricidad, como cualquier otro producto, tiene que superar unos mínimos criterios de calidad en pro de garantizar la satisfacción del cliente. El suministro eléctrico tiene como objetivo proporcionar energía a los aparatos o equipos que prestan al usuario un servicio [1]. La calidad percibida por el cliente depende la interrupción del suministro o del no funcionamiento de los servicios esperados por sus aparatos eléctricos. Por otro lado, la percepción de una interrupción depende del tipo del cliente (industrial o doméstico) y de la hora de la interrupción. Esto permite concluir que la calidad del servicio depende de múltiples factores, y este proceso comienza desde la generación de la energía eléctrica hasta la utilización final de la misma a nivel doméstico o industrial.

En general, las dos principales partes implicadas en la calidad del suministro son: por un lado, la compañía eléctrica con el conjunto de la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica, y por el otro lado el cliente o consumidor final [1]. Desde el punto de vista de la compañía eléctrica, la calidad se divide en tres principales categorías [2, 3]:

- Calidad comercial de la compañía eléctrica: la calidad comercial engloba la calidad del servicio al cliente, en relación con las diversas transacciones entre cliente y compañía. En este punto se pueden diferenciar las transacciones que se realizan antes de establecer el suministro, ejemplo: el acceso a la red, las conexiones, la potencia que se desea contratar, la instalación del contador, etc. y posteriormente están las transacciones que se generan durante el contrato de suministro como son: la facturación, atención al cliente, lectura de los contadores, etc.
- Continuidad del suministro o Calidad del Servicio Técnico (CST): la continuidad del suministro está cuantificada por el número y la duración de las interrupciones al suministro.
- Calidad de la onda eléctrica o Calidad de Producto Técnico (CPT): la calidad de la onda eléctrica se cuantifica por los valores que representan las características técnicas de la alimentación que se rigen por límites establecidos. Estos límites se encuentran definidos en la normativa europea EN 50160 con el título “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución” [1].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado una revisión sistemática de documentos de sociedades científicas, normas, regulaciones y tesis de doctorados dedicadas al análisis de la calidad de la energía eléctrica. También se han consultado revisiones sistemáticas y estudios científicos sobre el tema a tratar. El estudio es descriptivo, correlacional, con un enfoque cualitativo, por medio de un diseño no experimental (transversal); la revisión bibliográfica de la literatura especializada abarcó 3 158 artículos científicos y 491 tesis de doctorados, todos relacionados con el tema de investigación, ver figura 1, del anexo.

Las fuentes bibliográficas fueron seleccionadas en Google académico, base de datos y revistas especializadas en el tema de estudio. La estrategia de búsqueda para obtener los referentes importantes se determinó en función de las normas, las tres categorías principales que se tienen en cuenta para evaluar la calidad de la energía eléctrica, más los trabajos referidos a calidad que analizan más de una de las categorías, en el caso de las tesis de doctorados los mismos representan el 65.78% y los artículos científicos representan 84.77%, el resto de los artículos y tesis se han excluido debido a que no fueron relevantes para el objetivo de la revisión, aunque de una forma directa o indirecta evaluaban la calidad de la energía eléctrica. Además, se analizaron más de 100 regulaciones y normas de diferentes países.

La selección de los artículos muy importantes, se fundamentó sobre la base de aquellos artículos que relacionaban a más de una categoría de calidad y las regulaciones analizadas. Aunque se seleccionaron varios artículos de una sola categoría y del ranking de calidad, para conformar este grupo. Entre las publicaciones óptimas relacionadas con la investigación se encuentran:

- Calidad del servicio. Regulación y optimización de inversiones, por Juan Rivier Abbad en 1999.
- Detención, clasificación y localización de eventos de calidad de energía utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de señales e inteligencia artificial, David Marcelo de Yung, en el 2016.
- Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica, R. Muñoz Gómez, 2015.

El objetivo de la investigación es, determinar la evolución de los métodos para evaluar la calidad de la energía eléctrica y los referentes normativos aplicados nacional e internacionalmente. Para una mejor comprensión la investigación se estructuró de la siguiente forma:

- Evolución de las tres categorías.
- Estudio epistemológico del análisis de la calidad de la energía eléctrica.
- Análisis crítico de la calidad de la energía eléctrica en diferentes regiones geográficas.

### **El estudio de la calidad del servicio**

El estudio de la calidad del servicio ha adquirido especial importancia en las empresas de servicios. La mayoría de los servicios son intangibles, lo que significa que muchos no pueden ser verificados por el cliente antes de su adquisición para asegurarse de su calidad, ni tampoco se pueden dar las especificaciones uniformes de calidad propias de los bienes. Por tanto, debido a su carácter intangible, una empresa de servicios suele tener dificultades para comprender cómo perciben sus clientes la calidad de los servicios que presta [4, 5].

Han sido numerosas las empresas que, en los últimos años, ante la entrada en la nueva era de la globalización donde no hay límites y los nuevos mercados están liberalizados, han decidido iniciarse en una etapa de competencia superior, relacionada con la mejora en la calidad del servicio. La calidad del servicio se considera una variable estratégica en la competitividad empresarial, ya que ayuda a la organización a diferenciarse de otras empresas y crea así una ventaja competitiva [5, 6]. Sin embargo, el avance en el campo de la calidad del servicio no ha sido tan rápido como en otros sectores, debido principalmente a la naturaleza intangible de los servicios.

Así, el concepto de calidad de servicio ha sido objeto de numerosas definiciones, motivadas por la naturaleza difusa y compleja del concepto. No existe una única concepción de la calidad del servicio, sino que hay diferentes perspectivas que coexisten en la actualidad [7], ver figura 1 del Anexo. Es importante notar que la distinción clave entre un servicio y un producto deriva precisamente de la intangibilidad del servicio, ya que la calidad de este solo puede ser medida después de ser consumido. En la industria eléctrica, la percepción del servicio involucra la atención de fallas y el mantenimiento preventivo fuera de la percepción del cliente, así como aspectos de incertidumbre, producto de los fenómenos atmosféricos y accidentes provocados por terceras personas. Esto produce mayor complejidad en la medición de la percepción del servicio de energía eléctrica.

En cuanto a la conceptualización y medición de la calidad del servicio, es un concepto complicado de abordar debido a la característica, que ya se ha expuesto sobre la intangibilidad inherente al servicio, los problemas en la recepción, la producción en tiempo real y la diferenciación entre la calidad humanística y mecanicista. Por ello, tras años de investigación, continúan los debates sobre la conceptualización y medición de la percepción de la calidad del servicio en la literatura. Esta controversia dificulta la determinación de cómo definir y operacionalizar la calidad del servicio en estudios empíricos [7], ver figura 1 del Anexo.

### **Calidad del servicio**

Se denomina calidad del servicio a la dirección y grado de discrepancia entre la percepción del cliente y sus expectativas, en términos de las dimensiones de la calidad del servicio que pueden afectar el comportamiento futuro de los consumidores. Asimismo, se caracteriza por la comparación de la excelencia o superioridad del servicio de los proveedores a juicio del cliente; subsecuentemente, argumentan que dicha calidad está en función de la diferencia entre expectativa y desempeño a lo largo de un sistema establecido de dimensiones de calidad [3, 7].

Según Johnston (1995), es necesario identificar las determinantes o dimensiones para poder especificar, medir, controlar y mejorar la calidad de servicio percibida por el cliente [8]; sin embargo, el objetivo principal es manipular a ésta; lo cual resulta esencial para identificar aspectos que puedan influir potencialmente el juicio general del cliente sobre el servicio. También, postula que la calidad de servicio percibida por el cliente tiene dos dimensiones: una técnica o dimensión de salida y una relacionada a procesos [7, 8].

### **Calidad funcional**

El nivel de calidad percibida de servicio no está determinado solamente por el nivel de desempeño de salida de calidad. Parasuraman, *et al.* (1988) [9], identifican cinco dimensiones que evalúan la calidad en el desarrollo del servicio: a) tangibles, entendida como las facilidades físicas, equipamiento y apariencia del personal, b) confiabilidad, que es la habilidad de desempeñar el servicio prometido exactamente y con formalidad.

c) Sensibilidad, la cual definen como la buena voluntad para ayudar a los clientes y proveer un servicio oportuno; d) aseguramiento, que comprende el conocimiento y cortesía de los empleados y sus habilidades para inspirar confianza; e) empatía, que abarca la atención y cuidado individualizado que la compañía provee a sus clientes. En relación con la dimensión de confiabilidad, Boulding, *et al.* (1993) argumentan que mientras la calidad de servicio es multidimensional, la confiabilidad es la dimensión clave en la determinación general de la calidad percibida de servicio [10]. Los investigadores han discutido que la dimensionalidad de la calidad de servicio puede depender sustancialmente de un tipo de servicio. La investigación de Chowdhary y Prakash (1995) sugiere que un número limitado de factores dominantes puede ser la base alrededor de la cual los clientes evalúan la experiencia del servicio [11]. En el servicio de distribución de energía eléctrica, la importancia de un número limitado de factores puede significar que una dimensión de profesionalismo puede encapsular muchos de los atributos de las dimensiones SERVQUAL, tales como empatía, aseguramiento y tangibles [7].

### Calidad de salida

La calidad técnica o de salida, se relaciona con el resultado del encuentro del servicio, donde la calidad funcional es considerada como el proceso de entrega del servicio. Se centra en qué servicios son entregados y la evaluación toma lugar después del servicio. La naturaleza de la calidad de salida puede ser diferente de un servicio a otro; por ejemplo, en un ambiente de hospital, la calidad de salida puede referirse a la exactitud del diagnóstico, en conjunto con la entrega del tratamiento apropiado, y en la probabilidad que tiene de alcanzar el resultado deseado [2, 5, 7].

La evolución de la calidad del servicio (calidad del servicio-calidad funcional-calidad de salida) se muestra en la figura 2 del anexo, a modo de resumen cronológico de las principales teorías y propuestas, se muestran los modelos de evaluación de la calidad del servicio anteriormente descritos, los hechos internacionales más destacados, además de diversas contribuciones teóricas en servicios, su calidad y evaluación. Se observa que el inicio de las principales propuestas teóricas sobre la evaluación de la calidad del servicio se presenta entre las décadas de los 70 y 90 (Donabedian, 1966; Grönross, 1984; Parasuraman y otros, 1985, 1988), coincidiendo con el inicio de la Internet, del computador personal y el nacimiento de la era de la información. Así mismo, se observan durante este lapso, importantes aportes teóricos y filosóficos respecto a la calidad, además de sus posteriores contribuciones en la definición de estándares internacionales, como son las normas ISO-9000 e ISO-9001.

### Calidad del servicio comercial de electricidad

En el sector eléctrico, tras la reciente liberalización del mercado de energía doméstica y el incremento de la competencia en el sector, las empresas están esforzándose por alcanzar mejores posiciones en el mercado mediante la reducción de costes y políticas orientadas a los clientes. Así, la satisfacción del cliente ha pasado a constituir uno de los objetivos prioritarios para las empresas del sector eléctrico. En una relación que pretende ser exhaustiva, en la tabla 1, se exponen las principales características de los modelos más notorios en el análisis de la calidad del servicio en empresas del sector eléctrico en los últimos años, haciendo especial hincapié en los atributos del nivel de servicio que se tuvieron en cuenta en cada análisis [7, 12]. Ver tabla 2.

**Tabla 1.** Principales estudios sobre calidad del servicio en el sector eléctrico mediante encuestas de satisfacción al cliente

| Fuente                    | Modelo de evaluación  | Negocio Analizados                  | Segmento o mercado                                             |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Bai y Ye, 2005            | SERVQUAL              | Sector eléctrico /agua/gas en China | Residencial, comercial e industria                             |
| Baida et al. 2005         | Ontología de servicio | Sector eléctrico en Noruega         | Residencial, comercial e industria                             |
| Blose y Tankersley., 2004 | SERVQUAL              | Sector eléctrico en EE.UU.          | Residencial, comercial y promotores e instaladores eléctricos. |
| Gitlow y Loredó, 1992     | TQM                   | Sector eléctrico en EE.UU.          | Residencial, comercial y ventas al mercado mayorista           |
| Hartmann y Apaolaza, 2007 | SERVQUAL              | Sector eléctrico en España          | Residencial                                                    |
| Jannadi y Al-Saggaf, 2000 | SERVQUAL              | Sector Eléctrico en Arabia Saudí    | Industrial, residencial, comercial y otros                     |
| Royo et al, 2005          | QFD                   | Sector Eléctrico en España          | No especificado                                                |
| Siado y Mejías (2007)     | SCAL                  | Sector eléctrico en Venezuela       | Comercial e industrial.                                        |
| Walsh y Dinnie (2006)     | Lealtad de cliente    | Sector eléctrico en Alemania        | No especificado                                                |
| UD-PG-0021-2013           | SERVQUAL              | Sector Eléctrico de Cuba            | Residencial y comercial                                        |

Fuente: Adaptado de Muñuzuri, *et. al*, 2009 [7]

**Tabla 2.** Umbrales y atributos de la UD-PG-0021-2013, encuesta aplicada en Cuba

| Umbrales |                                              | Descripción                                                                                                                           | Pregunta      | Atributos -Calidad     |
|----------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| A        | Continuidad del servicio                     | Tiempo que el cliente dispone de la energía eléctrica del mes                                                                         | 1             | Fiabilidad             |
| B        | Calidad del producto                         | Calidad del voltaje contratado                                                                                                        | 2             |                        |
| C        | Facilidad para efectuar el pago del servicio | Variedad de formas y horarios                                                                                                         | 3             | Empatía                |
| D        | Eficiencia del compromiso de respuesta       | Necesidades de los clientes, solucionadas en el tiempo comprometido por la empresa, solución de planteamientos y respuestas a quejas. | 4, 5, 6, 7, 8 | Capacidad de respuesta |
| E        | Calidad de la comunicación.                  | Vía de comunicación, calidad de información tramitada, horario de atención, trato a personas entre otras                              | 9, 10, 11     | Seguridad              |
|          |                                              |                                                                                                                                       | 12            | Tangibilidad           |

Fuente: Elaboración Propia

Los trabajos anteriormente mencionados realizan una evaluación de los atributos del nivel de servicio de compañías eléctricas a partir de la valoración de conceptos relativamente intangibles, como la fiabilidad o el valor añadido de los servicios [7, 13]. En la mayoría de los casos aplican el método SERVQUAL para evaluar la calidad del servicio comercial. En el caso de Cuba se aplica la UD-PG-0021-2013 encuesta de satisfacción a clientes residenciales [9], evaluando con 12 preguntas y los 5 atributos mostrados por SERVQUAL como se muestra en la tabla 2 y la figura 1 del Anexo.

### Calidad del Servicio Técnico CST

Hasta alrededor de la década de los 70, la mayoría de las publicaciones sobre confiabilidad y calidad en sistemas eléctricos de potencia eran dedicadas a los sistemas de generación, en donde el interés principal era conocer la disponibilidad de energía y potencia [14]. Sin embargo, en el año 1964, Todd [15] y Gaver [16], abordan en sus trabajos la evaluación de la confiabilidad en redes de transmisión-distribución. A partir de ese momento, se aprecia un creciente interés por desarrollar métodos y técnicas para el cálculo de parámetros de confiabilidad en redes eléctricas, principalmente en los países desarrollados [14].

En el año 1968 el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) crea un comité de trabajo, que tiene como objetivo definir los indicadores que deben medir las empresas de distribución de energía eléctrica, con relación a la confiabilidad, para estandarizar el lenguaje entre ellas y facilitar el intercambio de criterios y opiniones entre los ingenieros [17]. Los índices propuestos por dicho comité, buscaban acercarse más a los usuarios involucrándolos en las ecuaciones que los definen. El IEEE propone en 1974, mediante un reporte del Power Systems Relaying Committee, un grupo de cuatro índices que relacionan parámetros de la red tales como, longitud, fallas por año, tiempo de reparación, con otros parámetros que tienen una incidencia directa sobre el usuario o cliente, como número de consumidores fallados y carga en kVA interrumpida [14].

Los cuatro índices mencionados anteriormente no tienen en cuenta el tipo de consumidor, por ejemplo, si es residencial, comercial o industrial, lo cual es un aspecto de peso a la hora de seleccionar las alternativas de solución para una red, por tanto, este problema importante quedaba aún inconcluso [14]. De acuerdo con el contenido del reporte mencionado anteriormente y de la discusión que realizan del mismo, se ratifican que los índices descritos anteriormente deben ser evaluados y si es posible estandarizados de forma adicional a los indicadores de confiabilidad propios de las redes eléctricas, tales como: razón de falla, razón de reparación, tiempo medio entre fallos, tiempo de reparación, tiempo total de falla anual, los que se encuentran entre los más utilizados.

Los índices que presenta la literatura en las décadas del 80 y 90 buscan enlazar con mayor fuerza los parámetros de confiabilidad, característicos de las redes eléctricas radiales, con los usuarios. Esto modifica la filosofía de las empresas de distribución de la electricidad, incorporando la calidad del servicio, en este caso particular la continuidad del mismo, al objetivo principal de las mismas [14]; lo cual, constituye la base para la creación de los indicadores de calidad implementados por el IEEE Std 1366-1995. 2012, 2022 [18] ver figura 1 del Anexo.

En 1996, Urquijo J., propuso un grupo de indicadores para medir la confiabilidad en las redes eléctricas de distribución cubanas; estos indicadores están recogidos en el procedimiento UR-BD 0101 [15], de la Dirección de Distribución de la Unión Eléctrica y son los siguientes:

- Duración Equivalente de la Potencia Interrumpida (DEPI)
- Frecuencia Equivalente de la Potencia Interrumpida (FEPI)

Además de estos indicadores relacionados con la carga, la tasa de fallas y el tiempo medio de reparación, la Unión Eléctrica adoptó los siguientes indicadores [14, 19]:

- TIU: Tiempo de Interrupción al usuario
- NIU: Número de interrupciones al usuario
- IDR: Índice de disponibilidad de las redes

#### **Enfoque general relativo de los Índices de CST**

Pueden consultarse los autores Hiluf y Goa Tella (2020), [20], De Mendonça, *et al.* (2023), [21], Fogliatto, *et al.* (2022), [22], Jain y Jain (2021), [23], Olajuyin, *et al.* (2022), [24] y Gustavo (2023), [25].

#### **Enfoque relativo a los Índices de CST desde la Planificación Óptima de los Sistemas de Distribución**

Pueden consultarse los autores (Aschidamini, 2022), [26] y Gustavo (2023), [25].

#### **Enfoque relativo a los Índices de CST desde la Operación Óptima de los Sistemas de Distribución**

Pueden consultarse los autores Anteneh, *et al.* (2021), [27], Enjavimadar y Rastegar (2022), [28] y Gustavo (2023), [25].

#### **Enfoque relativo a los Índices de CST considerando Generación Distribuida y Redes Inteligentes**

Pueden consultarse los autores Abreu y Martins (2021), [13], Ahmad, *et al.* (2021), [29], Gomes, *et al.* (2023), [30], Hakimi, *et al.* (2022), [31], Hamidan y Borousan (2022), [32], Idowu, *et al.* (2022), [33], Li, *et al.* (2022), [34], Meera y Hemamalini (2022), [35], Parol, *et al.* (2022), [36], Wu, *et al.* (2022), [37], Yin, *et al.* (2022), [38], Zeng, *et al.* (2022), [39] y Gustavo (2023), [25].

#### **Generalidades sobre la Calidad del Producto Técnico CPT**

Para poder hablar de calidad de la energía eléctrica, se debe primero hablar del concepto calidad, el que según las Normas Cubanas NC 92-01-1-1985, sobre Términos y Definiciones, se define como “el conjunto de características de la producción o de los servicios que determinan su aptitud para satisfacer los requisitos exigidos de acuerdo con el uso o aplicación prevista” [14, 40]. Existe también otro concepto denominado calidad del producto técnico.

La calidad de la onda también es llamada calidad de la onda de tensión y calidad del producto técnico, siendo este último el nombre con que en lo adelante se hará referencia a este indicador. Bajo este concepto de CPT, se evalúan parámetros e índices reveladores de las características del suministro siendo el control del nivel de tensión y de perturbaciones los que pudieran afectar a la misma y que permiten saber si la energía eléctrica tiene la calidad requerida. Las 7 categorías de perturbaciones definidas por la IEEE 1159 [41], son: variaciones de frecuencia, variaciones de tensión de larga duración, desbalance de tensión y corriente, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión, huecos de tensión y cortes breves e impulsos de tensión. En los casos particulares de la fluctuación de tensión, los huecos de tensión y cortes breves e impulsos de tensión, son indicadores no reconocidos por la UNE que, por lo tanto, no cumple objetivos tenerlos en cuenta para el análisis de este trabajo.

Indicadores de Calidad del Producto Técnico: En el proceso de recorrido del sistema eléctrico, la energía podría sufrir algunos cambios por diferentes motivos y debido a ello, la (CPT) se puede manifestar y evaluar en función de distintos fenómenos que se resumen en los siguientes: el nivel de tensión, la regulación de frecuencia, las perturbaciones, los desequilibrios de tensión, las fluctuaciones de tensión, la distorsión armónica y las interrupciones [42, 43]. Ver tabla 3.

**Tabla 3.** Normas sobre la Calidad del Producto Técnico

| Norma                                         | Índice                                                                                                                                                                                                                                                 | Tensión                                                                                              |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEEE 1159                                     | No establece índices<br>Hundimiento, Armónico, Desbalance de Tensión, Fluctuación de Tensión.                                                                                                                                                          | Aplicables a varios niveles de tensión de un sistema eléctrico                                       |
| IEEE 519                                      | Armónico de Tensión: Distorsión armónico individual y Distorsión armónica total<br>Armónico de Corriente: Distorsión armónico individual y Distorsión armónica total                                                                                   | $120\text{ V} < V \leq 69\text{ kV}$<br>$69\text{ kV} < V < 161\text{ kV}$<br>$V \geq 161\text{ kV}$ |
| IEEE 1453                                     | Parpadeos: Severidad de Corto Plazo, Severidad de Largo Plazo                                                                                                                                                                                          | Alto voltaje $V \geq 230\text{ kV}$<br>$35\text{ kV} < V < 230\text{ kV}$ ,                          |
| IEEE 1250                                     | Desbalance de Tensión: Desbalance, Regulación de Tensión y Frecuencia<br>Distorsión de Tensión: Distorsión Armónica Total<br>Parpadeos: Severidad de Corto y Largo Plazo<br>Hueco de Tensión: Índice de Frecuencia (RMS) y Promedio de sistema (SARFI) | Alto voltaje                                                                                         |
| IEEE 1564                                     | Hueco de Tensión: Índice de Frecuencia (RMS), Promedio de sistema (SARFI), Índice de energía de hundimiento (SEI) y Índice de energía de hundimiento promedio (ASEI)                                                                                   | Alto voltaje                                                                                         |
| EN 50160                                      | Parpadeos: Severidad de Corto Plazo, Severidad de Largo Plazo<br>Armónico de Tensión                                                                                                                                                                   | Alto voltaje                                                                                         |
| Fuente: Adaptada de Vargas, et al (2022) [47] |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                      |

En el Código Electrotécnico Cubano (CEC) de junio de 2011, se expone un acápite relacionado con la calidad de la energía eléctrica, donde solo se hace mención a los indicadores de desviación y fluctuación de tensión y al contenido de armónicos de tensión y corriente, sin tener en cuenta el desbalance o asimetría de la tensión y la corriente. Sin embargo, expertos que se han dedicado al tema de la calidad de la energía eléctrica, como (Feodorov, 1980) [44], acompañados por los criterios expuestos en la norma internacional (International Electrotechnical Commission (IEC), son más abarcadores al definir los indicadores y los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad, teniendo en cuenta las desviaciones y fluctuaciones de tensión, el desbalance o asimetría de la tensión y corriente, la distorsión de forma de onda y la desviación y fluctuaciones de frecuencia [2, 45]. En la tabla 1 del Anexo, se muestran los principales indicadores de la (CPT). (Comité de Distribución-Comisión Técnica, 1996), ver tabla 1 del Anexo.

A nivel internacional se han establecido normas, regulaciones y recomendaciones para el control de las perturbaciones que perjudican la calidad de los sistemas de energía eléctrica, a través de índices medidos o calculados, que establecen los límites permisibles de tales perturbaciones para los sistemas. Sin embargo, dentro de toda la normativa, los estándares IEEE generalmente son los más empleados porque se revisan y actualizan constantemente. En la tabla 3, se presenta una recopilación de la normativa internacional sobre la calidad del servicio y de producto, con un resumen del tipo de perturbación considerada, los índices que emplean para calcular o medir tales perturbaciones, así como el nivel de tensión en el que se pueden aplicar [4, 46].

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Estudio epistemológico de la calidad de la energía eléctrica. Ver tabla 2 en el Anexo. Para una mejor comprensión y el análisis, se dividieron por décadas, hasta el año 2000, dividido desde la etapa 1 a la 5.

### Análisis del estudio epistemológico de la calidad de la Energía Eléctrica por período

**Etapas 1 (1960-1970):** en este período, aún no se habla de calidad de la energía eléctrica, se determinan las variables que cuantifican la confiabilidad y se usan fundamentalmente en función de la generación. No existe uniformidad de criterios a nivel mundial con relación a los índices utilizados para valorar la confiabilidad.

**Etapas 2 (1970-1980):** se introduce los indicadores de sistema (Duración Equivalente de la Potencia Interrumpida y Frecuencia Equivalente de la Potencia Interrumpida) sin tener en cuenta el tipo de consumidor, introducen el término de (CST) y se mantiene las mismas variables de la etapa anterior.

**Etapas 3 (1980-1990):** cuantifican la calidad de la energía eléctrica, dividiéndola en tres aspectos fundamentales: (1- (CST). 2- (CPT). 3- Calidad Comercial.)

Se llega al consenso que la base de cálculo para los indicadores de la (CST) es en función de los consumidores y no de los kVA, es decir, referida a los indicadores individuales y no a los del sistema del período anterior. Hasta la fecha no aparece ningún método de cálculo para cuantificar la calidad de la energía eléctrica en general, se destacan los países de Argentina y España, siendo los pioneros en el tema de la regulación de la energía eléctrica.

**Etapas 4 (1990-2000):** A partir de la década del 90 se define que la (CST) es en función de la Continuidad del servicio y la (CPT) los Parámetros relativos con la onda de tensión. En este periodo se delimita la confiabilidad de la calidad del servicio técnico. Se introduce el cálculo de la energía no suministrada al punto de carga debido a las fallas (ENS) y la energía no suministrada por consumidor (AENS). Se llega a la conclusión mediante estudios de la época, que, para el análisis de la calidad del servicio, los indicadores más utilizados son los individuales SAIFI y SAIDI, la mayoría de los países que remuneran a los consumidores lo hacen en función de estos indicadores, muy pocos lo determinan por los indicadores del sistema. Los indicadores del sistema se emplean en función del mantenimiento y los costos de la energía total.

**Etapas 5 (2000- actualidad):** Los indicadores del sistema se emplean en función del mantenimiento y los costos de la energía total. Los indicadores individuales se utilizan en función de las inversiones y para cuantificar la calidad de la energía eléctrica. Hay autores que plantean, que los indicadores individuales y del sistema pueden ser comparados.

#### **Análisis del estudio epistemológico de la calidad de la Energía Eléctrica por puntos**

Para el análisis del estudio epistemológico de la calidad de la Energía Eléctrica se realizó según la tabla 2 del anexo.

**Punto 1 (Período):** para el análisis de la calidad hay dos periodos fundamentales:

**Período 1:** Confiabilidad en función de la (CST) en redes de distribución, desde 1960«1980, en este periodo aún no se habla de calidad, a pesar de calcular y tener en cuenta los indicadores por separado.

**Período 2:** Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica, desde 1980 hasta la actualidad.

**Punto 2 (Indicadores):** se definen los indicadores de calidad.

- (CST) (Continuidad del servicio): Frecuencia media de interrupción y Tiempo total de interrupción.
- (CPT) (Parámetros relativos con la onda de tensión): Frecuencia, Tensión, Huecos de tensión, Flicker y Armónicos.
- Calidad Comercial

Muy pocos países analizan además la calidad del alumbrado público.

**Punto 3 (Novedad):** Se delimitan dentro de los indicadores de confiabilidad cuales definen la calidad del servicio técnico. Se definen indicadores individuales y por sistemas, con base de cálculo en función de los kVA y de los consumidores, kVA para la confiabilidad y consumidores para la calidad, aunque los países que solo reconocen los indicadores de sistema lo usan para determinar la calidad de la energía eléctrica. Hay autores que plantean que pueden ser comparados los indicadores individuales y del sistema con lo de otra región y así comparar el ranking.

**Punto 4 (Cálculo de la confiabilidad en función de la calidad. Métodos más usados):** La dificultad principal existente para la aplicación de técnicas de confiabilidad es la disponibilidad de datos (Data débil). Esto se debe a que todos los métodos conocidos se basan en la combinación de parámetros de confiabilidad de los componentes, lo que obligaría a llevar un registro de fallas de cada componente del sistema eléctrico (transformadores, interruptores, líneas, alimentadores, barras, etc.). Normalmente las empresas eléctricas llevan registro de fallas, pero sin la identificación y detalle que se requiere para tales evaluaciones

**Punto 5 (Métodos de cálculo de la Calidad de la Energía Eléctrica por países):** No todos los países determinan la calidad de la energía eléctrica mediante métodos de cálculo, aunque la mayoría indemnizan en función de la calidad de la energía eléctrica brindada y contratada (parámetros estandarizados). Los métodos de cálculo más usados para determinar la calidad de la energía eléctrica son los métodos de ponderación y el criterio de expertos.

### **Análisis crítico de la calidad de la energía eléctrica en diferentes regiones geográficas**

Todos los países analizados mostrados o no en la tabla 2 del Anexo, coinciden en los criterios para analizar la calidad de la energía eléctrica (calidad comercial, (CST) y (CPT)), y no todos los países reconocen el alumbrado público como un indicador de calidad. Todos los países presentan un organismo regulador y normas para regular los indicadores estandarizados, en el caso de nuestro país consta con el órgano regulador, con las normas de los indicadores estandarizados, pero no cuenta con un ente regulador de la calidad de la energía eléctrica (la empresa eléctrica cubana es juez y parte de los análisis a los temas de calidad).

**Calidad del servicio técnico:** todos los países no reconocen los mismos indicadores, a pesar de que todos determinan los indicadores individuales en función de los consumidores, hay algunos que bonifican por sistema o en función de los kVA, planteando que se puede introducir un error a la hora de considerar todos los consumidores de una línea y no solo los fallados. Esto es cierto, pero el mismo error se introduce en función de los kVA ya que se consideran todos los transformadores cargados al mismo por ciento en una porción de línea determinada. No hay un consenso en el control de estos parámetros, se pueden realizar, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales.

**Calidad del producto técnico:** todos los países reconocen los indicadores de nivel (de tensión, armónico, asimetría y frecuencia) y en algunos países según el nivel de desarrollo se considera (flicker, huecos e impulso).

**Calidad comercial:** todos los países coinciden con los criterios determinados para la calidad comercial, pero no hay uniformidad en la zona de estudio, algunos países lo hacen por niveles de tensión, teniendo en cuenta el tipo de zona y considerando el número de clientes. No hay una uniformidad en las penalizaciones o bonificaciones que se les realizan a los consumidores.

De la bibliografía analizada referente a la calidad de la energía eléctrica se puede determinar que no hay un consenso o uniformidad en los métodos de cálculo para determinar la calidad de la energía eléctrica, son basados en criterios de experto y métodos de ponderación. Según el desarrollo de los países y su comercializadoras las exigencias son mayores y en los países del primer mundo al brindar estándares de máxima calidad, la evaluación generalmente está en función de la satisfacción de los clientes. Los países pioneros en este tema son Estados Unidos, España y Argentina, los mismos no cuentan con un método de cálculo para evaluar la calidad de la energía eléctrica, debido a su complejidad. En América Latina y el Caribe la calidad, se encuentra la Comisión de Integración Energética Regional (CIER), recomendando el método de ponderación como método de cálculo para evaluar la calidad de la energía eléctrica.

Se ha llevado a cabo una revisión internacional de las regulaciones existentes de calidad el servicio. Del análisis de estas regulaciones, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La tendencia general de las nuevas regulaciones de calidad es llegar a controlar la calidad ofrecida a cada cliente.
- En los países industrializados, donde la calidad técnica de la calidad del servicio es en general bastante buena, se da más importancia a la atención comercial que a la calidad técnica. La atención comercial no se había cuidado mucho hasta el momento, debido a su condición de negocio regulado en régimen de monopolio.
- En países con menor nivel de desarrollo industrial, los niveles de calidad técnica no suelen ser buenos y lastran su desarrollo económico. Las nuevas regulaciones planteadas intentan hacer más hincapié en el control de los aspectos técnicos.
- Ninguna de las regulaciones revisadas se basa en conceptos teóricos de alcanzar el nivel óptimo de calidad desde un punto de vista social, modular la remuneración en función del nivel de calidad ofrecido, etc. Generalmente, únicamente establecen niveles de calidad límite cuyo sobrepaso implica penalizaciones.
- Dentro de los países desarrollados, se tiende más hacia una regulación centrada en la atención comercial, dejando un poco de lado el aspecto técnico de la calidad del servicio. Estos países suelen tener un nivel de calidad bueno, sobre todo para las necesidades de los clientes domésticos. En cambio, las Distribuidoras no han cuidado adecuadamente la atención comercial al trabajar en régimen de monopolio. Hasta hace poco, en España se llamaban abonados a lo que hoy se llaman clientes.

- Dentro de los países en vías de desarrollo, se tiende más hacia una regulación de todos los aspectos de la calidad del servicio, con especial hincapié en la continuidad del suministro. En estos países, una de las razones de la liberalización del mercado ha sido la de mejorar la calidad técnica del suministro. En algunos casos, como en Argentina, el nivel de continuidad del suministro era alarmante para la economía del país. De ahí que se hayan implantado las regulaciones de calidad más completas y severas. Argentina regula todos los aspectos de calidad. Chile ha seguido los mismos pasos, aunque con cierto retraso después de un primer intento fallido.

## CONCLUSIONES

En este artículo, se presentó un análisis de la evolución de los índices de calidad del servicio en diferentes países del mundo, con el fin de analizar el diagnóstico de la situación sobre la calidad de la energía eléctrica en el país, y proponer recomendaciones para la actualización de la regulación actualmente vigente. De la evaluación a la normativa, se concluye que los indicadores de calidad del servicio considerados en la investigación, guardan coherencia con los que aplican otros reguladores a nivel de Latinoamérica y el mundo; sin embargo, sería factible la incorporación de nuevos índices de calidad relacionados con la CST y CPT normados y que no se controlan.

A nivel mundial no hay un consenso o método matemático para evaluar la calidad de la energía eléctrica, los métodos existentes son en función a criterios de expertos y método de ponderación. La CPT no ha sufrido cambio desde el surgimiento de la electricidad, con la normalización de los niveles de tensión y la frecuencia con que se debía suministrar, lo que han aumentado sus niveles de exigencia. La base para la normalización de los países a nivel mundial es la IEC 6100 y la IEE 1159. En Cuba la más reciente versión es a NC 800 del 2017.

La base de cálculo para la CST a nivel mundial es la IEEE 1366, en la misma se determinan los indicadores en función de los clientes y los kVA. Algunos países aplican los cálculos en función del cliente para calidad, y los cálculos en función de los kVA para la confiabilidad o mantenimiento, no hay un consenso a nivel mundial de su aplicación y los resultados son aproximadamente iguales. Para el mantenimiento solo hay que afectar el resultado en función de los kVA por la tasa de falla. En el caso de Cuba se aplica UR-BD 0101-2001. La calidad de servicio o calidad comercial se evalúa en el mundo mediante encuesta de satisfacción del cliente, el método que más se aplica es el SERVQUAL, aunque la mayoría de los países modifican el cuestionario y las preguntas mantienen los mismos atributos. En el caso de Cuba se aplica la UD-PG-0021-2013.

## REFERENCIAS

- [1]. A. Sumper, *et al.* "Índices de continuidad en redes de distribución y su mejora". 9º Congreso HISPANO LUSO Ingeniería Eléctrica (9CHLIE). Julio de 2005. Disponible en: <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/377-SUMPER.pdf>
- [2]. P. Kumar. "A Review of Power Quality Problems, Standards and Solutions". International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Enero 2017, vol. 4, n. 1, p. 1765-1775. ISSN 2395 - 0056. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V4/i1/IRJET-V4I1353.pdf>
- [3]. L. A. Arellán Yanac. "El marco regulatorio de la Calidad del Servicio Público de la Electricidad y la gestión de las empresas estatales de distribución eléctrica". Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de posgrado. Jan. 2022. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21305>
- [4]. S. Vargas, X. *et al.* "Análisis de Indicadores de Calidad para la Actualización de la Regulación No. CONELEC – 003/08 Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado". Revista Técnica "energía", Aug. 27, 2023, vol. 19, n. 2. ISSN 2602-8492. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/issue/view/24>
- [5]. E. Feilat, "Power Quality Enhancement using Custom Power Devices". Apr. 28, 2014. ISBN 978-1-4615-1153-3. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-1153-3>
- [6]. G. d'Hoop, *et al.* "Power Quality Improvement of a Microgrid with a Demand-Side-Based Energy Management System". Open access peer-reviewed chapter. 2019. DOI 10.5772/intechopen.83604. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/65455>

- [7]. J. Muñuzuri, *et al.* "Un enfoque cuantitativo para valorar el servicio eléctrico por parte de sus usuarios". Universidad de Sevilla, 2009, Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/96075>
- [8]. R. Johnston. "The determinants of service quality: satisfiers and dissatisfiers". *Int. J. Serv. Ind. Manag.* Jan. 1995, vol. 6, n. 5, p. 53–71, DOI 10.1108/09564239510101536. ISSN 2147-6799. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09564239510101536/full/html>
- [9]. A. Parasuraman, *et al.* "SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality". *J. Retail.* 1988, vol. 64, n. 1, p. 12–40. ISSN 1873-3271. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/200827786\\_SERVQUAL\\_A\\_Multiple-item\\_Scale\\_for\\_Measuring\\_Consumer\\_Perceptions\\_of\\_Service\\_Quality](https://www.researchgate.net/publication/200827786_SERVQUAL_A_Multiple-item_Scale_for_Measuring_Consumer_Perceptions_of_Service_Quality)
- [10]. W. Boulding, *et al.* "A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectations to Behavioral Intentions". *J. Mark. Res.*, Feb. 1993, DOI 10.1177/002224379303000102. ISSN 2576-4098. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235356679\\_A\\_Dynamic\\_Process\\_Model\\_of\\_Service\\_Quality\\_From\\_Expectations\\_to\\_Behavioral\\_Intentions](https://www.researchgate.net/publication/235356679_A_Dynamic_Process_Model_of_Service_Quality_From_Expectations_to_Behavioral_Intentions)
- [11]. M. E. Dávila Bustamante, *et al.* "Las dimensiones de la calidad del servicio en el proceso de distribución y comercialización de energía eléctrica". *Contad. Adm.* Sep. 2012, vol. 57, n. 3, p. 175–195. ISSN 0186-1042. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-10422012000300008](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-10422012000300008)
- [12]. M. E. Roldán Toapanta. "Análisis de la percepción de calidad del servicio comercial de energía eléctrica". master Thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Maestría en Administración de Empresas, 2022. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36846/1/055%20ADE.pdf>
- [13]. P. S. e Abreu and A. G. Martins. "Evaluation of service quality of distribution systems with critically located generators". *Int. Trans. Electr. Energy Syst.* 2021, vol. 31, n. 4, p. e12852, DOI 10.1002/2050-7038.12852. ISSN 2050-7038. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2050-7038.12852>
- [14]. E. Sierra Gil and S. Lajes Choy. "Evolución de los métodos de evaluación de la confiabilidad para redes eléctricas de distribución". *Rev. Ing. Energética.* 2010, vol. 31, n. 3, p. 42–48. ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127745006.pdf>
- [15]. IEE. "A Probability Method for Transmission and Distribution Outage Calculations". July 1964, vol. 83, n. 7, p. 695-701. ISSN 0018-9510. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4766062>
- [16]. D. P. Gaver, *et al.* "Power System Reliability I-Measures of Reliability and Methods of Calculation". *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* Jul. 1964, vol. 83, n. 7, p. 727–737, DOI 10.1109/TPAS.1964.4766068. ISSN 0018-9510. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4766068>
- [17]. IEE. "Proposed Terms For Reporting And Analyzing Outages Of Electrical Transmission And Distribution Facilities". *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* Feb. 1985, vol. 104, n. 2, p. 337–348, DOI 10.1109/TPAS.1985.319048. ISSN 0018-9510. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4113088>
- [18]. Y. Dechgunmarn, *et al.* "Reliability Assessment and Improvement of Electrical Distribution Systems by Using Multinomial Monte Carlo Simulations and a Component Risk Priority Index". *IEEE Access.* 2022, vol. 10, p. 111923–111935, DOI 10.1109/ACCESS.2022.3215956. ISSN 2169-3536. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9925206>
- [19]. D. M. Núñez and J. M. Tarrillo. "Aplicación del Loop Automation en una red de distribución aérea de media tensión". *Revistas UAN.* Oct. 2015, vol. 5, n. 10. ISSN 2346-0911. Disponible en: <https://revistas.uan.edu.co/index.php/ingean/article/view/392>
- [20]. A. Hiluf and T. G. Tella. "Reliability Assessment of Electrical Distribution Network using Analytical Method: A Case Study of Maychew City Distribution System". *Int. J. Eng. Res.* 2020, vol. 9, n. 8. ISSN 2278-0181. Disponible en: <https://www.ijert.org/research/reliability-assessment-of-electrical-distribution-network-using-analytical-method-a-case-study-of-maychew-city-distribution-system-IJERTV9IS080075.pdf>
- [21]. M. J. C. de Mendonça, *et al.* "Service quality performance indicators for electricity distribution in Brazil". *Util. Policy.* Feb. 2023, vol. 80, p. 101481, DOI 10.1016/j.jup.2022.101481. ISSN 1878-4356. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095717872200145X>

- [22]. M. S. S. Fogliatto, *et al.* "Power distribution system interruption duration model using reliability analysis regression". *Electr. Power Syst. Res.* Oct. 2022, vol. 211, p. 108193, DOI 10.1016/j.epsr.2022.108193. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779622004023>
- [23]. T. K. Jain and N. Jain. "Service Quality in the Energy Sector and Its Impact on Sustainability". In *Affordable and Clean Energy*, W. Leal Filho, A. Marisa Azul, L. Brandli, A. Lange Salvia, and T. Wall, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, p. 1156–1164. DOI 10.1007/978-3-319-95864-4\_65. Disponible en: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95864-4\\_65](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95864-4_65)
- [24]. Elijah Adebayo Olajuyin, *et al.* "An overview on reliability assessment in power systems using CI approaches". *Arch. Electr. Eng.* 2022, vol. 71, n. 2, p. 425-443. DOI 10.24425/ae.2022.140720. ISSN 1427-4221. Disponible en: [https://journals.pan.pl/Content/123214/PDF-MASTER/art10\\_internet.pdf](https://journals.pan.pl/Content/123214/PDF-MASTER/art10_internet.pdf)
- [25]. G. A. Schweickardt. "Percepción de la Calidad del Servicio Técnico en usuarios Residenciales de Sistemas de Distribución Eléctrica: Perception of the Quality of the Technical Service in Residential Customers of Electrical Distribution Systems". *Latam Rev. Latinoam. Cienc. Soc. Humanidades.* 2023, vol. 4, n. 2, p. 271. ISSN 2789-3855. Disponible en: <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/877>
- [26]. G. L. Aschidamini, *et al.* "A Framework for Reliability Assessment in Expansion Planning of Power Distribution Systems". *Energies.* Jan. 2022, vol. 15, n. 14, DOI 10.3390/en15145073. issn 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5073>
- [27]. D. Anteneh, *et al.* "Distribution network reliability enhancement and power loss reduction by optimal network reconfiguration". *Comput. Electr. Eng.* Dec. 2021, vol. 96, p. 107518, DOI 10.1016/j.compeleceng.2021.107518. ISSN 1879-0755. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790621004651>
- [28]. M. Enjavimadar and M. Rastegar. "Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems". *Electr. Power Syst. Res.* Feb. 2022, vol. 203, p. 107647, DOI 10.1016/j.epsr.2021.107647. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779621006283>
- [29]. F. Ahmad, *et al.* "A novel AI approach for optimal deployment of EV fast charging station and reliability analysis with solar based DGs in distribution network". *Energy Rep.* Nov. 2022, vol. 8, p. 11646–11660, DOI 10.1016/j.egy.2022.09.058. ISSN 2352-4847. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722017814>
- [30]. T. E. de O. Gomes, *et al.* "Clustering Electrical Customers with Source Power and Aggregation Constraints: A Reliability-Based Approach in Power Distribution Systems". *Energies.* Jan. 2023, vol. 16, n. 5, DOI 10.3390/en16052485. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2485>
- [31]. S. M. Hakimi, *et al.* "Optimal sizing of renewable energy systems in a Microgrid considering electricity market interaction and reliability analysis". *Electr. Power Syst. Res.* Feb. 2022, vol. 203, p. 107678, DOI 10.1016/j.epsr.2021.107678. ISSN 1873-2046. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/356404497\\_Optimal\\_sizing\\_of\\_renewable\\_energy\\_systems\\_in\\_a\\_Microgrid\\_considering\\_electricity\\_market\\_interaction\\_and\\_reliability\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/356404497_Optimal_sizing_of_renewable_energy_systems_in_a_Microgrid_considering_electricity_market_interaction_and_reliability_analysis)
- [32]. M.-A. Hamidan and F. Borousan. "Optimal planning of distributed generation and battery energy storage systems simultaneously in distribution networks for loss reduction and reliability improvement". *J. Energy Storage.* Feb. 2022, vol. 46, p. 103844, DOI 10.1016/j.est.2021.103844. ISSN 2352-1538. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X21015139>
- [33]. K. Idowu, *et al.* "Reliability Improvement Study of a Distribution Network with Distributed Generation". *Appl. Model. Simul.* Jan. 2021, vol. 5. ISSN 2600-8084. Disponible en: [http://arqiipubl.com/ojs/index.php/AMS\\_Journal/article/view/200](http://arqiipubl.com/ojs/index.php/AMS_Journal/article/view/200)
- [34]. J. Li, W. *et al.* "A Dynamic Heat/Power Decoupling Strategy for the Fuel Cell CHP in the Community Energy System: A Real Case Study in South of China". *IEEE Trans. Smart Grid.* Jan. 2023, vol. 14, n. 1, p. 378–387, DOI 10.1109/tsg.2022.3189973. ISSN 1949-3061. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826833>

- [35]. P. S. Meera and S. Hemamalini. "Reliability assessment and enhancement of distribution networks integrated with renewable distributed generators: A review". *Sustain. Energy Technol. Assess.* Dec. 2022, vol. 54, p. 102812, DOI 10.1016/j.seta.2022.102812. ISSN 2213-1396. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822008608>
- [36]. M. Parol, *et al.* "Reliability Analysis of MV Electric Distribution Networks Including Distributed Generation and ICT Infrastructure". *Energies*. Jan. 2022, vol. 15, n. 14, DOI 10.3390/en15145311. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5311>
- [37]. J. Wu, *et al.* "Reliability evaluation method of distribution network considering the integration impact of distributed integrated energy system". *Energy Rep.* Nov. 2022, vol. 8, p. 422–432, DOI 10.1016/j.egyr.2022.08.124. ISSN 2352-4847. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722015694>
- [38]. H. Yin, *et al.* "Operational Reliability Assessment of Distribution Network With Energy Storage Systems". *IEEE Syst. J.* Mar. 2023, vol. 17, n. 1, p. 629–639, DOI 10.1109/JSYST.2021.3137979. ISSN 1937-9234. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9718194>
- [39]. G. Zeng, *et al.* "Analytical reliability assessment of cyber-physical distribution system with distributed feeder automation". *Electr. Power Syst. Res.* Jul. 2022, vol. 208, p. 107864, DOI 10.1016/j.epsr.2022.107864. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779622000943>
- [40]. M. Castro Fernández, *et al.* "Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba". *Revista Cubana de Ingeniería*. Jan. 2010, vol. 1, n. 3, p. 41-50. DOI 10.1234/rci.v1i3.28. ISSN 2223-1781. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/28/29/32&ved=2ahUKEwis2prhoqyIAxWUTjABHbTfLlgQFnoECBcQAQ&usq=AOvVaw05H1oXjHm1wSp2G9qm-BGb>
- [41]. 1159-2019 - IEEE. "1159-2019 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". *IEEE Std 1159-2009 Revis.* Jun. 2009, p. 1–94, DOI 10.1109/IEEESTD.2009.5154067. ISBN 978-1-5044-5928-0. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486>
- [42]. M. H. A. Aziz, *et al.* "A review on harmonic mitigation method for non-linear load in electrical power system". *AIP Conf. Proc.* May 2021, vol. 2339, n. 1, p. 020022, DOI 10.1063/5.0044251. ISSN 1551-7616. Disponible en: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2339/1/020022/1027837/A-review-on-harmonic-mitigation-method-for-non?redirectedFrom=PDF>
- [43]. 519-2014 - IEEE. "519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems". *IEEE Std 519-2014 Revis.* Jun. 2014, p. 1–29, DOI 10.1109/IEEESTD.2014.6826459. ISBN 978-0-7381-9005-1. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6826459>
- [44]. R. Muñoz Gómez. "Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica". Tesis de Doctorado. Universidad Miguel Hernández de Elche, 2015. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=68145>
- [45]. M. Nizamuddin. "Electric Power Quality (Power Systems)". Springer; 2011th edition. April 21, 2013, p. 204. ISBN 9-4007-3569-3. Disponible en: [https://www.academia.edu/7709382/Electric\\_Power\\_Quality\\_Power\\_Systems](https://www.academia.edu/7709382/Electric_Power_Quality_Power_Systems)
- [46]. S. Vargas, *et al.* "Análisis de Indicadores de Calidad para la Actualización de la Regulación No. CONELEC – 003/08 Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado". *Rev. Téc. Energ.* Jan. 2023, vol. 19, n. 2, DOI 10.37116/revistaenergia.v19.n2.2023.551. ISSN 2602-8492. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/55>

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Nelson Alexey Castro Torres:** <https://orcid.org/0000-0001-8515-8998>

Participó en el diseño de la investigación, diseño del modelo, recolección de datos, el procesamiento de los datos y la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Eduardo Sierra Gil:** <https://orcid.org/0000-0001-5216-2771>

Participó en el diseño de la investigación, recolección de datos, análisis de resultados y la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

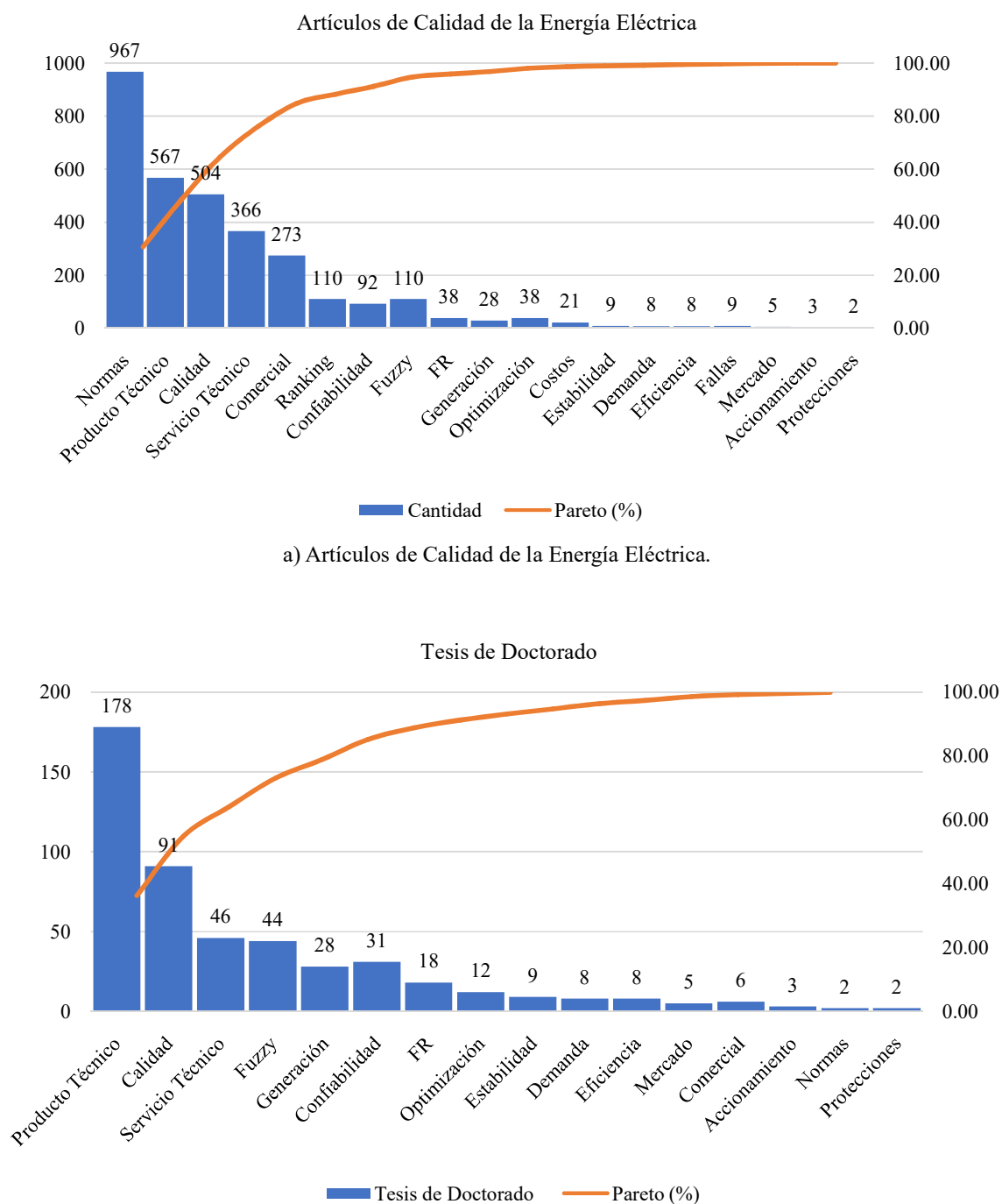
**Eduardo López Pérez:** <https://orcid.org/0009-0008-2179-6809>

Participó en el diseño de la investigación, la redacción del manuscrito y el procesamiento de los datos, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Frank Grau Merconchini:** <https://orcid.org/0000-0002-0174-5309>

Participó en el diseño de la investigación y la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

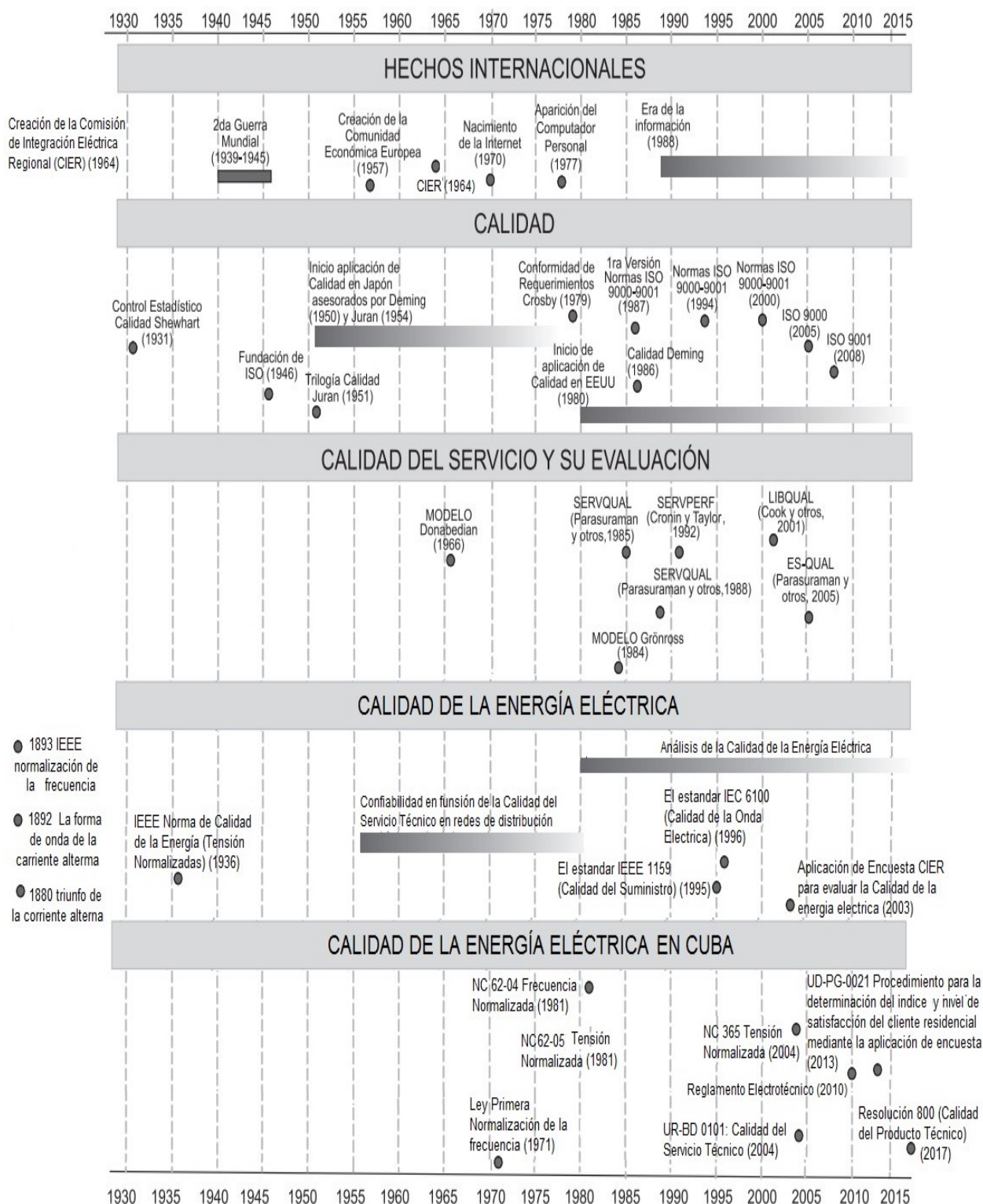
## ANEXOS:



### b) Tesis de Doctorado defendidas.

**Fig. 1.** Bibliografía especializada en el análisis de la calidad de la energía eléctrica.

Fuente: Elaboración Propia.



**Fig. 2.** Antecedentes cronológicos y evolución del análisis de la calidad de la energía eléctrica  
Fuente: Adaptada de Torres y Vásquez (2015)

**Tabla 1.** Indicadores de la CPT. Fuente: Adaptada IEC 6100

| INDICADOR                                         | DEFINICIÓN                                                                                                                        | EXPRESIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | SIGNIFICADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desviaciones de tensión                           | Desviación de tensión transitorias, de corta duración, de larga duración                                                          | $U_{db} = \frac{U_n - U_r}{U_n} \cdot 100\%$ $U_{dr} = \frac{U_r - U_n}{U_n} \cdot 100\%$                                                                                                                                                                                                                                           | $U_n$ es la tensión efectiva nominal (la que debe haber).<br>$U_r$ es la tensión efectiva real.<br>$U_{db}$ es la desviación por bajada.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Asimetría de tensión de fase o línea              | La asimetría de tensión se cuantifica de acuerdo al factor de desequilibrio o desbalance                                          | $f_a = \frac{U_{a2}}{U_1} \cdot 100\%$ $U_{a1} = \frac{1}{3} (\overline{U_{ab}} + a \cdot \overline{U_{bc}} + a^2 \cdot \overline{U_{ca}})$ $U_{a2} = \frac{1}{3} (\overline{U_{ab}} + a^2 \cdot \overline{U_{bc}} + a \cdot \overline{U_{ca}})$ $U_{a0} = \frac{1}{3} (\overline{U_{ab}} + \overline{U_{bc}} + \overline{U_{ca}})$ | $U_{a2}$ es tensión eficaz de secuencia negativa de línea o fase.<br>$U_{a1}$ es el módulo del fasor de la tensión efectiva de la componente de secuencia positiva de línea.<br>$U_{a2}$ es el módulo del fasor de la tensión efectiva de la componente de secuencia negativa de línea.<br>$U_{a0}$ módulo del fasor de la tensión efectiva de la componente de secuencia cero |
| Asimetría de corriente de fase o línea            | Es un indicador de eficiencia eléctrica y no como un indicador de calidad de la energía                                           | $f_i = \frac{I_{a2}}{I_{a1}} \cdot 100$                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $f_i$ es el factor de asimetría de corriente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Asimetría de corriente de fase o línea            | Las componentes de secuencia positiva, negativa y nula, son cuantificadas por el método de las componentes simétricas             | $I_{a1} = \frac{1}{3} I_{a0} + a \cdot I_{b0} + a^2 \cdot I_{c0}$ $I_{a2} = \frac{1}{3} I_{a0} + a^2 \cdot I_{b0} + a \cdot I_{c0}$ $I_{a0} = \frac{1}{3} I_{a0} + I_{b0} + I_{c0}$                                                                                                                                                 | $I_{a1}$ es la corriente eficaz de secuencia positiva.<br>$I_{a2}$ es la corriente eficaz de secuencia negativa.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Distorsión de forma de onda (Distorsión Armónica) | Desviación estable del comportamiento sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia | $THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_f} \cdot 100\%$                                                                                                                                                                                                                                                                  | $I_h$ = Componente armónica.<br>$h$ = Número de armónico.<br>$I_f$ = Componente fundamental o nominal.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                   |                                                                                                                                   | $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_f} \cdot 100\%$                                                                                                                                                                                                                                                                  | $V_h$ = Componente armónica.<br>$h$ = Número de armónico.<br>$V_f$ = Componente fundamental o nominal.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Desviaciones de frecuencia                        | La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema.              | $f_d = \frac{f - f_n}{f_n} \cdot 100$                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $f$ es la frecuencia real de trabajo<br>$f_n$ es la frecuencia nominal de trabajo del sistema.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Fluctuaciones de tensión (Flicker)                | Variación rápida en la amplitud de la tensión o fluctuación de suficiente duración que permite ser observada                      | $P_{st} = \sqrt{(0,0314P_{01} + 0,0525P_1 + \dots + 0,0657P_1 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50})}$                                                                                                                                                                                                                                          | $P_{st}$ : Índice de severidad de flicker de corta duración.<br>$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ : Niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50%                                                                                                                                                                                          |
|                                                   |                                                                                                                                   | $P_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{st}^2}{n}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $P_{st} (i=1, 2, 3, \dots)$ son las lecturas de la severidad de flicker a corto plazo                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

**Tabla 2.** Estudio epistemológico de la calidad de la energía eléctrica

| Estudio epistemológico de la calidad de la Energía Eléctrica por período |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Puntos                                                                   | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1- Período                                                               | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Etapas                                                                                                                                                                                                                                                |
| Indicadores                                                              | Confiabilidad en función de la calidad del servicio técnico en redes de distribución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Confiabilidad en función de la calidad del servicio técnico en redes de distribución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Confiabilidad en función de la calidad del servicio técnico en redes de distribución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Confiabilidad en función de la calidad del servicio técnico en redes de distribución                                                                                                                                                                  |
| 1- Período                                                               | <p>Marcovich:</p> <p>1- Determinación de los valores límites permisibles de los índices cualitativos del régimen (Investigación técnico-económico de los indicadores de calidad).</p> <p>2- Elección del sistema de regulación de los índices cualitativos con el fin de mantener sus magnitudes en la zona de valores permisibles (Relación mutua entre la regulación de la frecuencia y la tensión).</p> <p>3- Automatización de la regulación de los índices cualitativos (Balance de capacidad activa y reactiva en el sistema energético y su planificación).</p> | <p>Se proponen estos indicadores sin tener en cuenta el tipo de consumidor</p> <p>1- Fallas por año</p> <p>2- Tiempo de reparación</p> <p>3- Número de consumidores fallados</p> <p>4- kVA interrumpidos</p> <p>Se mantienen los puntos 2 y 3 de la etapa anterior</p>                                                                                                                                              | <p>Calidad de la energía eléctrica:</p> <p>1- Calidad del Servicio Técnico</p> <p>2- Calidad Del Producto Técnico</p> <p>3- Calidad Comercial</p> <p>Calidad del Servicio Técnico:</p> <p>1- Índice de frecuencia de falla promedio del sistema (SAIFI)</p> <p>2- Índice de duración de la falla promedio del sistema (SAIDI)</p> <p>3- Índice de frecuencia falla promedio por consumidor (CAIFI)</p> <p>4- Índice duración de la falla promedio por consumidor (CAIDI)</p> <p>Se mantienen los puntos 2 y 3 de la etapa 1</p>                                                                                                                                           | <p>1- Calidad del Servicio Técnico (Continuidad del servicio): Frecuencia media de interrupción</p> <p>2- Calidad Del Producto Técnico (Parámetros relativos con la onda de tensión): Frecuencia, Tensión, huecos de tensión, Flicker y Armónicos</p> |
| 3- Novedad                                                               | <p>Hasta la década del 70 todos los índices de confiabilidad eran en función de la generación, en donde el interés principal era conocer la disponibilidad de energía y potencia</p> <p>No existe uniformidad de criterios con los índices utilizados para valorar la confiabilidad</p> <p>Se introduce el término de calidad del servicio técnico</p> <p>Se introducen los indicadores de la potencia</p> <p>1- Índice Duración Equivalente de la Potencia Interrumpida</p> <p>2- Índice Frecuencia Equivalente de la Potencia Interrumpida</p>                       | <p>Comisión de Integración Eléctrica Regional (CIER)</p> <p>Clasificación de las fallas</p> <p>Otro de los aspectos tratados en la reunión fue decidir qué base de cálculo se debía tomar para acercarse más al usuario, el número de consumidores, la carga instalada en kVA u otro tipo de base. La decisión fue optar por el número de consumidores</p> <p>Se introducen indicadores individuales y globales</p> | <p>Con propósito educativo</p> <p>(Tasa de falla <math>\lambda</math> (fallas/año)</p> <p>Tiempo medio de restauración <math>r</math> (horas/falla)</p> <p>Indisponibilidad <math>I</math> (horas/año)</p> <p>SAIFI: fallas consumidor</p> <p>SAIDI: horas consumidor fallado</p> <p>SAIFI: horas consumidor</p> <p>SAIDI: horas consumidor</p> <p>Calidad del Servicio Técnico</p> <p>La energía no suministrada al punto de carga debido a las fallas (ENS) y la energía no suministrada por consumidor (AENS)</p> <p>Estudio de la época plantea que para el análisis de la calidad del servicio los indicadores más utilizados son los individuales SAIFI y SAIDI</p> | <p>Los indicadores individuales SAIFI y SAIDI se emplean en función de las inversiones y bonificaciones. Los indicadores del sistema son empleados en función del mantenimiento.</p>                                                                  |

Cont. tabla 2. Estudio epistemológico de la calidad de la energía eléctrica

|     |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | individuales SAIFI y SAIDI                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos de Perú, Colombia, Chile, Estados Unidos, Canadá y Ecuador                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4   | 4- Técnica de Markov                                                                                                                          | 3- Conjuntos de corte mínimos "Cut Set": (Misra; Rad; 1970).                                                                                                  | 4- Cálculo de la confiabilidad en función de la calidad métodos más usados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4.1 | Otros métodos de calculo                                                                                                                      | Evaluación de la confiabilidad en redes de transmisión y distribución (Todd; 1964) y (Gaver, Montmeat; 1964).                                                 | Versiones modificadas de las ecuaciones desarrolladas por Gaver, (Grover; Billinton 974), (Billinton; Grover; 1975-1) Analisis de la confiabilidad considerando niveles de tensión e índices totales para la red eléctrica y el término de calidad del servicio técnico (Allan; Billinton; De Oliveira; 1976).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1- Modelando la red (Billinton, 1982) y (Allan, 1982)<br>2- Probabilidad condicional (Allan, 1982)<br>5- Técnica de frecuencia y duración (Ariagada, 1985).<br>6- Razón promedio de falla (Allan, 1982)<br>Técnicas para encontrar las funciones de densidad de probabilidad de índices de confiabilidad (Billinton; Wojczynski; 1985). | La evaluación de confiabilidad, a través de índices de desempeño (Yuan-Yih; 1990)<br>Técnicas para encontrar las funciones de densidad de probabilidad de índices de confiabilidad (Carpaneto; Chicco; 2004).<br>La evaluación de confiabilidad, a través de índices de desempeño, muestra la aplicación de un sistema DBMS (Data Base Management System) (Li, Peng, Li, Liu, 2004). |
| 4.2 | Inconvenientes: La dificultad principal existente para la aplicación de técnicas de confiabilidad es la disponibilidad de datos (Data débil). |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 5   | 5- Métodos cálculo de la Calidad de la Energía Eléctrica por países                                                                           |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|     | Perú                                                                                                                                          | Compensación utilizando Método de ponderación con los indicadores individuales y la energía no suministrada en función de la (compensación y las inversiones) | <p>1- Establece una remuneración base que reciba la distribuidora a un nivel de calidad base (de referencia) acorde con dicha remuneración. Esto consiste en fijar para cada uno de los sectores típicos de la distribución un SAIDI y SAIFI base (o referencia).</p> <p>2- Cuando la calidad real de un sistema es mejor que la calidad base, la empresa recibe una bonificación, mientras que si se encuentra por debajo se penaliza.</p> <p>3- Para que la empresa eléctrica vaya evolucionando de la calidad actual a la calidad óptima, se bonifica en función al coeficiente K, es decir el valor de la pendiente de las curvas de costos en el punto óptimo de calidad del Nivel Óptimo de Calidad.</p> <p>4- Complementariamente a lo anterior, se requiere garantizar a todos los suministradores un nivel mínimo de calidad individual para ellos se utilizan índice individuales N y D de interrupciones que sufre cada cliente de forma individual, y un mecanismo de penalización también individual.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Cont. tabla 2: Estudio epistemológico de la calidad de la energía eléctrica.

|                            |            | calidad. Indemnizan todas las variables estandarizadas en la Reglamentación Colombiana de Calidad Técnica, están en función del número de consumidores.                                                                                                                                                                                                                                                                 | triada de Calidad)                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |            | Continuidad: CREG 070/1998, 025 y 089/1999, 096/2000, 159/2001, 084/2002, 113/2003, 008/2004, 103/2004, 097, 133 y 123/2008, 098 y proyecto 177/2009, 043, 067 y 117 de 2010                                                                                                                                                                                                                                            | Calidad de la Potencia: CREG 070/98, 058/2004, 083/2004, 024/2005, CREG 110/ 2005, CREG 049/2006, 107/2006 Y 016/2007                                                                                                                                                    |
|                            |            | Continuidad: CREG 070/1998, 025 y 089/1999 (indicadores individuales)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Calidad de la Comercial: CREG 158/10                                                                                                                                                                                                                                     |
|                            |            | Calidad de la Potencia: CREG 070/98                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Se implementa método de cálculo para la compensación en función de los indicadores del sistema.                                                                                                                                                                          |
|                            | Chile      | Emplean el método de ponderación para los tres parámetros de calidad. Solo determinan los indicadores del sistema, la calidad del producto y comercial lo hacen mediante encuesta.                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                            | Guatemala  | No tiene un método de cálculo de calidad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Indemnizan todas las variables normalizadas. La calidad del servicio técnico es por indicadores de sistema (mantenimiento) y los individuales (inversiones)                                                                                                              |
|                            | Costa Rica | No tiene un método de cálculo de calidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Norma Técnica RRG 2442: Calidad de la Continuidad del Suministro Eléctrico" (AR-DTCSE) en función de indicadores individuales (inversiones) y sistema (mantenimiento). Método de ponderación en función de la interrupción.<br>Norma Técnica Calidad de la forma de Onda |
|                            | España     | No tiene un método de cálculo de calidad. Indemnizan todas las variables estandarizadas en la norma de la calidad del servicio técnico (indicadores de sistema.)                                                                                                                                                                                                                                                        | A partir del 2008 se introduce un nuevo método de penalización y bonificación en función de los indicadores del sistema, introduciendo incentivos adecuados para mejorar la calidad (basados en criterios de expertos).                                                  |
|                            | Brasil     | No tiene un método de cálculo de calidad. Indemnizan todas las variables estandarizadas en la norma de la calidad del servicio técnico (indicadores individuales). Emplea método de ponderación en función del nivel de tensión para las penalizaciones o bonificaciones.                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                            | Bolivia    | No tiene un método de cálculo de calidad. La norma de la calidad del servicio técnico es con indicadores individuales. Emplea método de ponderación en función de la remuneración.                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                            | Argentina  | No tiene un método de cálculo de calidad. Indemnizan todas las variables estandarizadas en la <b>Normas de Calidad del Servicio Público y Sanciones Contempladas en la Legislación Argentina Ley N°24.065</b> «1996 y la norma de la calidad del servicio técnico es en función de (indicadores individuales). Se introduce un coeficiente $K_1$ (ponderado) en función de la tarifa y la hora para las remuneraciones. |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Etapas                     |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1                          | 2          | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Etapa 4 (1990-2000)                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                            |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Etapa 5 (2000-actualidad)                                                                                                                                                                                                                                                |
| Fuente: Elaboración propia |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                          |