

## Analysis of Quality Indicators for the Update of Regulation No. CONELEC - 003/08 Quality of Electricity Transport and Transmission and Connection Service in the National Interconnected System

### 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

 S.D. Vargas<sup>1</sup>  X.P. Gavela<sup>2</sup>  L.S. Moncada<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
E-mail: sergio.vargas@epn.edu.ec

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
E-mail: ximena.gavela@epn.edu.ec

<sup>3</sup>GENSUR, Loja, Ecuador  
E-mail: leonardo.moncada@celec.gob.ec

#### Abstract

This article presents a diagnosis of the transmission service quality situation in Ecuador based on the analysis of the statistical information of the National Transmission System (SNT) and the evolution of the quality parameters and indicators established in the Regulation No. CONELEC – 003/08 Quality of Electricity Transportation and Transmission and Connection Service in the National Interconnected System. In addition to this, considering that the aforementioned regulation has not been modified since its approval in 2008 and that today there is a different network topology, even with new voltage levels for the SNT, based on results obtained, new criteria are proposed that allow the updating or reform of the Regulation; For this purpose, IEEE standards and international transmission quality regulations were examined to identify the indices and limits used for their control.

*Index terms*— product quality, service quality, event, index, regulation, transmission.

#### Resumen

En este artículo se presenta el diagnóstico de la situación de la calidad del servicio de la Transmisión en el Ecuador a partir del análisis de la información estadística del Sistema Nacional de Transmisión (SNT) y la evolución de los parámetros e indicadores de calidad establecidos en la regulación No. CONELEC – 003/08 *Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado*. Además de esto, bajo la consideración de que la regulación en referencia no ha sido modificada desde su aprobación en el año 2008 y que hoy en día se cuenta con una topología de red distinta, incluso con nuevos niveles de voltaje para el SNT, con base a los resultados obtenidos, se analizan aspectos que podrían considerarse para la actualización o reforma de la referida regulación. Para el efecto se estudiaron las normas IEEE y regulaciones internacionales de calidad de transmisión para identificar los índices y límites utilizados para su control a nivel mundial.

*Palabras clave*— calidad de producto, calidad del servicio, evento, indicador, regulación, transmisión.

Recibido: 31-10-2022 Aprobado tras revisión: 12-01-2023

Forma sugerida de citación: Vargas, S.; Gavela, X.; Moncada, L. (2022). “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”. No. 19, Issue II, Pp. 22-31

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n2.2023.551>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



## 1. INTRODUCCIÓN

La regulación No. CONELEC – 003/08 *Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado*, se aprobó en el año 2008. El contexto o escenario técnico y normativo bajo el cual se elaboró y aprobó la referida regulación fue distinto al actual, con un sistema eléctrico diferente. Al año 2022, el sistema eléctrico ecuatoriano ha evolucionado; se han incorporado proyectos emblemáticos como el nivel de voltaje de 500kV para el Sistema Nacional de Transmisión, y sistemas de monitoreo y control del Sistema Nacional Interconectado por parte del operador y del transmisor como los Sistemas de monitoreo de área extendida (WAMS) que utilizan Unidades de Medición Fasorial (PMU) para medición fasorial, con el fin de adquirir, transmitir y manejar datos de la red, mejorando la confiabilidad del sistema.

Bajo estos antecedentes, y tomando en consideración además que existe nueva información estadística de la operación del sistema de transmisión, se torna factible el estudio de la evolución de los índices de calidad a nivel de transmisión, así como la revisión de los aspectos normativos relacionados con su control. Dentro de este contexto, se desarrolla el presente trabajo, con un análisis de los criterios y aspectos que podrían considerarse para la actualización normativa.

Para el efecto, se desarrolló un proceso sistemático de estudio de los indicadores de calidad del servicio de transmisión en el Ecuador; el estudio inició con una completa revisión bibliográfica de las normas internacionales, así como del marco regulatorio aplicado a nivel local y en otros países para el control de la calidad del producto y del servicio de la transmisión; posteriormente, se realizó el análisis de la información estadística sobre interrupciones del servicio en el Sistema Nacional de Transmisión ecuatoriano (SNT) para conocer la evolución y cumplimiento de los parámetros de calidad en el país, para finalmente plantear recomendaciones que permitan la actualización de índices que evalúan la calidad del producto y servicio para el actual sistema de transmisión ecuatoriano.

## 2. ASPECTOS NORMATIVOS DE CALIDAD DE LA TRANSMISIÓN

### 2.1. Normativa Internacional Para la Evaluación de la Calidad de Transmisión

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 las tablas 1 y 2 se presenta una

recopilación de la normativa internacional sobre la calidad del servicio y de producto [1]- [7], con un resumen del tipo de perturbación considerada, los índices que emplean para calcular o medir tales perturbaciones, así como el nivel de voltaje en el que se pueden aplicar.

**Tabla 1: Normas de Calidad del Servicio**

| Norma     | Perturbación            | Índice  | Voltaje  |
|-----------|-------------------------|---|--|
| IEEE 1366 | Interrupción momentánea | Índices de interrupción sostenida (SAIFI, SAIDI, CAIDI, CTAIDI, CAIFI, ASAI, CMEI <sub>n</sub> )                        | Aplicable a varios niveles de un sistema eléctrico |
|           | Interrupción sostenida  | Índices de interrupción momentánea (MAIFI, MAIFIE, CEMSML <sub>n</sub> )<br><br>Índices basados en carga (ASIFI, ASIDI) |  |
| IEEE 1159 | Interrupción momentánea | No establece índices  | Aplicable a varios niveles de un sistema eléctrico |
|           | Interrupción sostenida  |   |  |

**Tabla 2: Normas de Calidad de Producto**

| Norma     | Índice   | Voltaje  |
|-----------|--|--|
| IEEE 1159 | No establece índices   | Aplicable a varios niveles de un sistema eléctrico                       |
|           | Hundimiento  |  |
|           | Incremento   |  |
|           | Armónico   |  |
|           | Desbalance de voltaje  |  |
| IEEE 519  | Fluctuación de voltaje   | Bajo y alto voltaje<br>120V < V ≤ 69kV                                   |
|           | Armónico de voltaje:<br>Distorsión armónica individual<br>Distorsión armónica total  | Alto voltaje<br>69kV < V ≤ 161kV   |
|           | Armónico de Corriente:<br>Distorsión de corriente armónica en porcentaje de la corriente de carga  | Extra alto voltaje<br>V > 161kV  |
|           | Distorsión de la demanda total   |  |
| IEEE 1453 | Parpadeo:<br>Severidad de corto plazo<br>Severidad de largo plazo  | Alto voltaje<br>35kV < V ≤ 230kV<br><br>Extra alto voltaje<br>V > 230 kV |
| IEEE 1250 | Desbalance de voltaje:<br>Desbalance<br>Regulación de voltaje<br>Frecuencia<br><br>Distorsión de voltaje:<br>Distorsión armónica total<br><br>Parpadeo:<br>Severidades de corto y largo plazo<br><br>Huecos de voltaje:<br>Índice de frecuencia RMS promedio del sistema (SARFI) | Alto Voltaje   |



|           |   |              |
|-----------|---|--------------|
| IEEE 1564 | Huecos de voltaje:<br>Índice de frecuencia RMS promedio del sistema (SARFI)<br>Índice de energía de hundimiento (SEI)<br>Índice de energía de hundimiento promedio (ASEI) | Alto voltaje |
| EN 50160  | Parpadeo:<br>Severidad de largo plazo<br><br>Desbalance:<br>Factor de desbalance de voltaje de secuencia negativa<br><br>Armónicos de voltaje                             | Alto voltaje |

## 2.2. Situación Local

### 2.2.1. Topología [8]

El Sistema Nacional de Transmisión (SNT) ecuatoriano está conformado por subestaciones y líneas de transmisión a nivel de 138 kV, 230 kV y 500 kV. Las líneas de transmisión a 230 kV forman un anillo troncal y junto con las líneas de transmisión a 500 kV conforman el sistema troncal de transmisión, al cual se vinculan centros de generación y distribución mediante las líneas de transmisión a 138 kV.

Las subestaciones son de reducción o seccionamiento. Los patios de maniobras de las subestaciones a 230 kV y 500 kV son de sistema de doble barra principal, mientras que las subestaciones de 138 kV tienen sistema de barra principal-transferencia. El SNT posee transformadores monofásicos y trifásicos, cuenta con compensación de potencia reactiva y su sistema de medición lo conforma el sistema de monitoreo de área extendida (WAMS) y la unidad de medición fasorial (PMU).

### 2.2.2. Regulación [9]

La Regulación No. CONELEC – 003/08 *Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado* establece los aspectos para la evaluación de calidad del servicio de la transmisión y del producto (potencia) en el Ecuador; en términos generales, los aspectos que se controlan son los que se presentan en la Fig. 1.

Por regulación, el control de calidad del servicio se debe realizar de forma semestral, considerando para el cálculo y evaluación de indicadores, las siguientes instalaciones: campos de conexión, circuitos de transmisión 138 kV y 230 kV, transformadores, capacitores y reactores. Por otro lado, los indicadores que se utilizan son los siguientes: horas de indisponibilidad (HI) semestrales, número de desconexiones (ND) semestral y factor de calidad del servicio (FCS), de manera que, se establece el límite de horas de indisponibilidad semestrales (LHI) y el límite del número de desconexiones semestral (NDP) presentados en la Tabla 3.

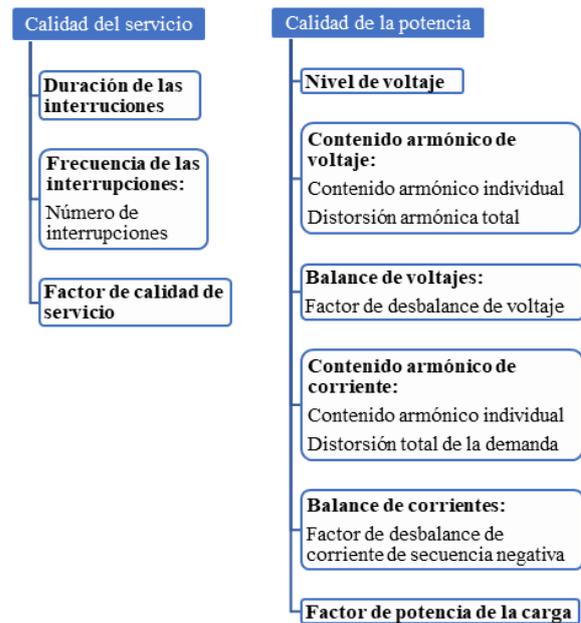


Figura 1: Aspectos de Calidad de Transmisión

Tabla 3: Límites de LHI y NDP

| Instalación                 | LHI | NDP |
|-----------------------------|-----|-----|
| Campo de conexión           | 2   | 1   |
| Circuito transmisión 230 kV | 4   | 2   |
| Circuito transmisión 138 kV | 4   | 2   |
| Capacitor y reactor         | 2   | 1   |
| Transformador               | 4   | 1   |

## 2.3. Normativa Internacional

Del estudio realizado se determina que la calidad de la transmisión a nivel internacional se controla en base a indicadores propios adoptados por cada regulador local, tal como se resume en las tablas 4 y 5 [10]-[14].

Tabla 4: Indicadores de Calidad del Servicio

| País      | Indicador  | Control   |
|-----------|--|-----------|
| Ecuador   | Número de interrupciones<br>Duración de interrupciones<br>Factor de Calidad de Servicio  | Semestral |
| Perú      | Número de interrupciones por cliente<br>Duración de interrupciones por cliente           | Semestral |
| Colombia  | Indisponibilidad   | Mensual   |
| Argentina | Indisponibilidad<br>Número de salidas forzadas de líneas por 100 km por 1 año            | Mensual   |
| Europa    | Energía no planificada no suministrada<br>Tiempo de interrupción promedio no planificado | -         |

Tabla 5: Indicadores de Calidad del producto

| País    | Indicador  |
|---------|--|
| Ecuador | Voltaje:<br>Nivel de voltaje, contenido armónico individual, distorsión armónica total, factor de desbalance de voltaje de secuencia negativa<br>Corriente: Contenido armónico individual, distorsión total de la demanda y factor de desbalance de corriente de carga de secuencia negativa |



|          |  |
|----------|--|
|          | Potencia: factor de potencia de la carga<br>Voltaje: Variación de voltaje<br>Frecuencia: Variación sostenida, variación súbita y variación diaria<br>Parpadeo: severidad de corta duración<br>Voltaje Armónico: voltaje armónico individual y distorsión armónica total      |
| Perú     |  |
| Colombia | Voltaje: desviación estacionaria del voltaje eficaz, relación de voltaje de secuencia negativa y positiva, distorsión armónica total<br>Frecuencia: desviación<br>Parpadeo: severidad de corta duración<br>Corriente: distorsión armónica total, distorsión total de demanda |
| Europa   | Voltaje: variación de voltaje, parpadeo, desbalance de voltaje, armónico de voltaje, cambio de voltaje rápido único, huecos de voltaje, incrementos breves de voltaje  |

### 3. DIAGNÓSTICO: SITUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA TRASMISIÓN EN EL ECUADOR

Para este diagnóstico se realizó un análisis de la información estadística de la calidad del servicio de la transmisión proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNR) en base a la información del Operador Nacional de Electricidad (CENACE) entre enero del 2012 y diciembre del 2020.

La información estadística incluye: HI, ND y sus causas. Además, el diagnóstico abarca las instalaciones del SNT indicadas en la tabla 6 y la metodología para el análisis de la información estadística se describe en la Fig. 2.

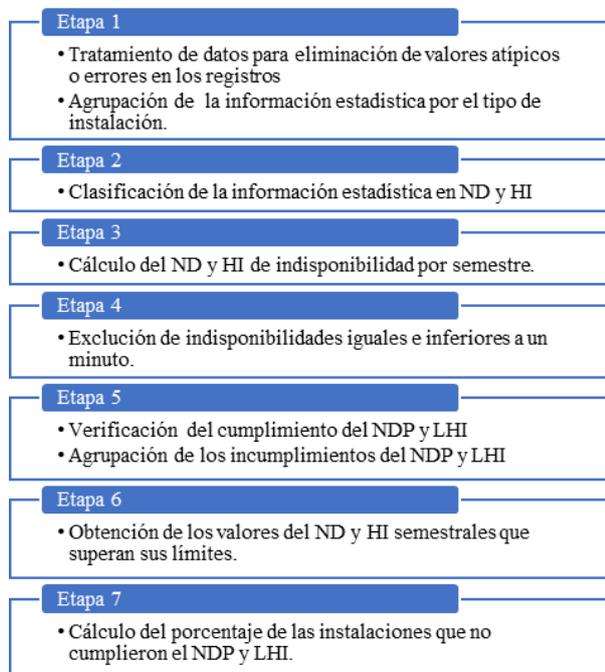


Figura 2: Metodología para el desarrollo del diagnóstico

### 3.1. Análisis Evolutivo de los Índices de Calidad del Servicio

Para conocer los cambios en el nivel de calidad del servicio del SNT debido a los cambios en su topología, se toma como referencia el año 2012 y el año 2020. En las tablas 6, 7 y 8 se presentan las comparaciones.

Tabla 6: ND de Instalaciones

| Instalación                              | ND   |      | Número Incumplimientos |      |
|--|------|------|------------------------|------|
|  | 2012 | 2020 | 2012                   | 2020 |
| Campo de conexión                        | 12   | 26   | 4                      | 1    |
| Circuito Transmisión 500 kV <sup>1</sup> | -    | 14   | -                      | -    |
| Circuito Transmisión 230 kV              | 16   | 66   | 0                      | 6    |
| Circuito Transmisión 138 kV              | 82   | 60   | 10                     | 4    |
| Capacitor y reactor                      | 0    | 0    | 0                      | 0    |
| Transformador                            | 20   | 33   | 4                      | 5    |
| Total                                    | 130  | 199  | 18                     | 16   |

Tabla 7: HI de Instalaciones

| Instalación                 | HI    |       | Número Incumplimientos |      |
|-----------------------------|-------|-------|------------------------|------|
|                             | 2012  | 2020  | 2012                   | 2020 |
| Campo de conexión           | 8,3   | 27,7  | 1                      | 2    |
| Circuito Transmisión 500 kV | -     | 93,2  | -                      | -    |
| Circuito Transmisión 230 kV | 26,3  | 100,1 | 3                      | 2    |
| Circuito Transmisión 138 kV | 518,1 | 56,6  | 5                      | 4    |
| Capacitor y reactor         | 0     | 0     | 0                      | 0    |
| Transformador               | 17,2  | 152,6 | 1                      | 5    |
| Total                       | 569,9 | 430,2 | 10                     | 13   |

Tabla 8: FCS de Instalaciones

| Instalación                 | Mayor a 1 |      | Mayor a 10 |      |
|-----------------------------|-----------|------|------------|------|
|                             | 2012      | 2020 | 2012       | 2020 |
| Campo de conexión           | 5         | 2    | 0          | 0    |
| Circuito Transmisión 500 kV | -         | -    | -          | -    |
| Circuito Transmisión 230 kV | 3         | 5    | 0          | 0    |
| Circuito Transmisión 138 kV | 13        | 6    | 1          | 0    |
| Capacitor y reactor         | 0         | 0    | 0          | 0    |
| Transformador               | 5         | 8    | 0          | 1    |
| Total                       | 26        | 21   | 1          | 1    |

De la comparación realizada, se puede observar que el número de incumplimientos del NDP ha disminuido al año 2020. Del mismo modo, las HI y los FSC distintos de cero son menores en el año 2020.

### 3.2. Análisis de Resultados

Del análisis de la información estadística, se tomó el período más representativo a la actualidad del SNT, periodo comprendido entre los años 2017 y 2020, del cual se pudo conocer lo siguiente: ND y HI que registraron las instalaciones del SNT durante este periodo de tiempo, número de incumplimientos del NDP y LHI, porcentaje de instalaciones que presentaron al menos un

<sup>1</sup> No existen registros de la información estadística de los circuitos de transmisión a 500 kV sobre el ND y HI en el año 2012, debido a que

la construcción del sistema a 500 kV inicio en julio del 2013 y finalizó al 100% en febrero del 2022.



incumplimiento de los límites en los 4 años y el FCS. Estos valores se presentan a continuación:

**Tabla 9: ND de Instalaciones**

| Instalación                 | ND  | Número Incumplimiento | Porcentaje incumplimiento |
|-----------------------------|-----|-----------------------|---------------------------|
| Campo de conexión           | 110 | 18                    | 14,9                      |
| Circuito Transmisión 500 kV | 53  | -                     | -                         |
| Circuito Transmisión 230 kV | 212 | 18                    | 19,7                      |
| Circuito Transmisión 138 kV | 274 | 26                    | 12,7                      |
| Capacitor y reactor         | 1   | 0                     | 0                         |
| Transformador               | 152 | 29                    | 16,3                      |

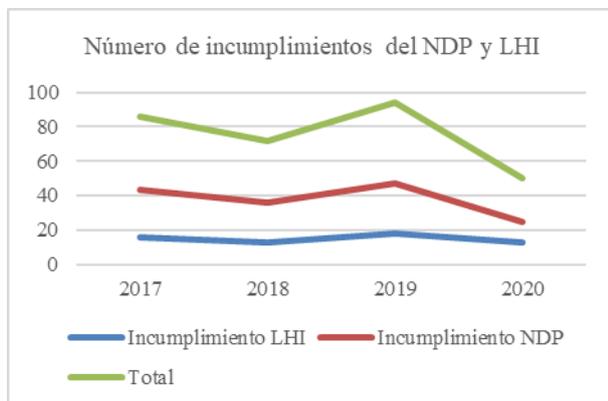
**Tabla 10: HI de Instalaciones**

| Instalación                 | HI     | Número Incumplimiento | Porcentaje incumplimiento |
|-----------------------------|--------|-----------------------|---------------------------|
| Campo de conexión           | 513,6  | 10                    | 8,9                       |
| Circuito Transmisión 500 kV | 1357,3 | -                     | -                         |
| Circuito Transmisión 230 kV | 1265,4 | 11                    | 14,1                      |
| Circuito Transmisión 138 kV | 413,3  | 17                    | 10,8                      |
| Capacitor y reactor         | 0      | 0                     | 0                         |
| Transformador               | 795,2  | 22                    | 11,3                      |

**Tabla 11: FCS de Instalaciones**

| Instalación                 | Mayor a 1 | Mayor a 10 | Mayor a 100 |
|-----------------------------|-----------|------------|-------------|
| Campo de conexión           | 26        | 3          | 1           |
| Circuito Transmisión 500 kV | -         | -          | -           |
| Circuito Transmisión 230 kV | 24        | 4          | 1           |
| Circuito Transmisión 138 kV | 33        | 3          | 0           |
| Capacitor y reactor         | 0         | 0          | 0           |
| Transformador               | 42        | 4          | 1           |

El número de eventos que incumplen los límites de los indicadores de calidad de servicio en el año 2018 disminuyó, de ahí alcanza su valor máximo en el año 2019, para finalmente llegar a su valor mínimo en el año 2020, esto se puede evidenciar en la Fig. 3.



**Figura 3: Número de Incumplimientos del NDP y LHI**

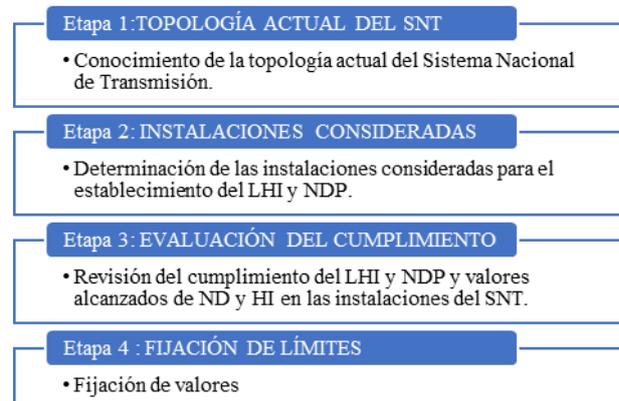
De la información analizada, se puede concluir que, durante el periodo de diagnóstico el porcentaje de las

instalaciones que presentaron por lo menos un incumplimiento del NDP y LHI es bajo, así mismo el número de incumplimientos de estos límites alcanzó el menor valor en el año 2020, y en comparación al año 2017 el número de incumplimientos del NDP y los FCS distinto de cero son menores.

#### 4. CÁLCULO DE LOS VALORES DE REFERENCIA

Los límites de los indicadores de calidad de transmisión se emplean para la evaluación y control de los parámetros de calidad, por lo cual estos valores deben estar acorde a la situación actual del SNT, considerando cambios en su topología como el ingreso en operación de las líneas de transmisión a 500 kV y mejoras en los sistemas de monitoreo y control que evidencian una mejora en su confiabilidad.

Estos valores de referencia no han sido revisados desde que se establecieron en la regulación de calidad de transmisión en el 2008. La metodología propuesta abarca únicamente los indicadores de calidad del servicio debido no se cuenta con información estadística de calidad del producto. Como parte de este trabajo, se propone la metodología descrita en la Fig. 4, misma que contempla los pasos que deberían seguirse para la actualización de los índices establecidos en la regulación.



**Figura 4: Metodología de Cálculo de Valores de Referencia**

##### 4.1. Etapa 1: Topología Actual del SNT

La topología actual del SNT fue descrita en la sección 2.2.1 Topología de la segunda sección de este artículo.

##### 4.2. Etapa 2: Instalaciones Consideradas

Bajo el estudio de la topología actual del SNT y los resultados del diagnóstico, se recomienda considerar la incorporación de los circuitos de transmisión a 500 kV en la actualización de la regulación para el control de calidad del servicio y por ende en el establecimiento del NDP y LHI para esta parte de la red.

### 4.3. Etapa 3: Evaluación del Cumplimiento Normativo

La evaluación del cumplimiento normativo de los índices de calidad del servicio de la transmisión permitirá conocer el estado de la calidad del servicio en las instalaciones del SNT y su evolución con la expansión del sistema en los últimos años.

Las tablas 12 y 13 presentan los valores relevantes para la evaluación en el período comprendido entre 2017 al 2020: valor máximo, número de eventos en los que se incumplen los límites, porcentaje de instalaciones que nunca incumplieron los límites y valores mayores a 10 y 100 horas.

**Tabla 12: ND de Instalaciones**

| Instalación                 | Valor máximo | Número incumplimientos | Porcentaje cumplimiento |
|-----------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| Campo de conexión           | 3            | 18                     | 85,1                    |
| Circuito Transmisión 500 kV | 7            | -                      | -                       |
| Circuito Transmisión 230 kV | 7            | 18                     | 80,3                    |
| Circuito Transmisión 138 kV | 6            | 26                     | 87,3                    |
| Capacitor y reactor         | 0            | 0                      | 0                       |
| Transformador               | 5            | 29                     | 83,7                    |

**Tabla 13: HI de Instalaciones**

| Instalación                 | Valor máximo | Número incumplimientos | Porcentaje cumplimiento | Mayor a 10 horas | Mayor a 100 horas |
|-----------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|
| Campo de conexión           | 243,6        | 10                     | 91,1                    | 6                | 2                 |
| Circuito transmisión 500 kV | 911          | -                      | -                       | 8                | 2                 |
| Circuito transmisión 230 kV | 600,7        | 11                     | 85,9                    | 7                | 4                 |
| Circuito transmisión 138 kV | 75,2         | 17                     | 89,2                    | 9                | 0                 |
| Capacitor y reactor         | 0            | 0                      | 0                       | 0                | 0                 |
| Transformador               | 358,2        | 22                     | 88,7                    | 11               | 1                 |

Los valores máximos del ND semestral de las instalaciones son bajos y cercanos a los límites de este indicador. Asimismo, el número de incumplimientos del NDP es bajo, además, el porcentaje de instalaciones que no presentaron ningún incumplimiento durante el periodo de diagnóstico es elevado.

Por otro lado, los valores máximos de HI semestrales de las instalaciones son elevados y se presentaron valores que superaron las 10 y 100 horas, sin embargo, el número de incumplimientos del LHI es bajo y el porcentaje de instalaciones que no presentaron ningún incumplimiento durante el periodo de diagnóstico es alto.

### 4.4. Etapa 4: Fijación de Límites

De la etapa anterior, se pudo evidenciar que hubo pocos incumplimientos de los límites de los indicadores en las instalaciones del SNT a lo largo de los 4 años y los resultados de la metodología del cálculo de los valores de referencia se detallan en la tabla 14. Asimismo, es necesario que el regulador analice estas horas de indisponibilidad elevadas.

**Tabla 14: Actualización de Límites de Indicadores**

| Instalación                 | Límite | Actualización       |
|-----------------------------|--------|---------------------|
| Campo de conexión           | NDP    | Debe mantenerse     |
|                             | LHI    | Debe mantenerse     |
| Circuito Transmisión 500 kV | NDP    | Requiere definición |
|                             | LHI    | Requiere definición |
| Circuito Transmisión 230 kV | NDP    | Debe mantenerse     |
|                             | LHI    | Debe mantenerse     |
| Circuito Transmisión 138 kV | NDP    | Debe mantenerse     |
|                             | LHI    | Debe mantenerse     |
| Capacitor y reactor         | NDP    | Debe mantenerse     |
|                             | LHI    | Debe mantenerse     |
| Transformador               | NDP    | Debe mantenerse     |
|                             | LHI    | Debe mantenerse     |

## 5. ASPECTOS DE CONTROL DE CALIDAD

### 5.1. Control de Datos

El control del ND y HI es semestral [9], en la información estadística se encontró que ciertos incumplimientos del NDP y LHI se produjeron en un solo mes. En la tabla 15 se presenta el número de incumplimientos durante los 4 años y se detallan cuantos sobrepasaron los límites en un solo mes.

**Tabla 15: Número de Incumplimientos en Instalaciones**

| Instalación                 | Número Incumplimientos (semestral) |     | Número Incumplimientos (Mensual) |     |
|-----------------------------|------------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
|                             | LHI                                | NDP | LHI                              | NDP |
| Campo de conexión           | 18                                 | 10  | 13                               | 10  |
| Circuito Transmisión 230 kV | 18                                 | 11  | 6                                | 11  |
| Circuito Transmisión 138 kV | 26                                 | 17  | 6                                | 17  |
| Capacitor y reactor         | 0                                  | 0   | 0                                | 0   |
| Transformador               | 29                                 | 22  | 16                               | 21  |

Para evitar que el ND y HI sigan incrementándose una vez se haya superado el límite semestral, puede crearse un régimen sancionatorio en base al artículo 73 “Procedimiento sancionatorio” de la LOSPEE [15] que dependa del valor del incumplimiento y de su reiteración. La clasificación propuesta se indica a continuación:

**Tabla 16: Clasificación de Sanción del Incumplimiento**

| Rango de incumplimiento                 | Tipo de sanción |
|---|-----------------|
| De 1.1 a 1.9 veces del límite permitido | Leve            |
| De 2 a 2.9 del límite permitido         | Mediana         |
| Mayor a 3 veces el límite permitido     | Grave           |

## 6. ARTICULACIÓN

Las regulaciones de calidad de transmisión y distribución especifican claramente los responsables

en la supervisión y cumplimiento de calidad del producto y del servicio, y no existen contradicciones entre las mismas, esto se puede evidenciar en la tabla 17. Además, en el cálculo de indicadores globales de calidad del servicio de distribución no se consideran las interrupciones originadas por el transmisor que se calculen individualmente mayores o iguales a 25 minutos [9], [16].

**Tabla 17: Supervisión y Cumplimiento de Calidad**

| Aspecto                          | Transmisión  | Distribución  |
|----------------------------------|--|---|
| Ámbito                           | Transmisor   | Empresa distribuidora   |
|                                  | Agente   | Consumidor regulado y no regulado de la empresa distribuidora |
|                                  | Empresa Distribuidora<br>Grande consumidor del SNT |   |
| Supervisión Calidad de potencia  | CENACE   | ARCONEL   |
|                                  | Transmisor   | Empresa distribuidora   |
| Cumplimiento Calidad de potencia | Transmisor   | Distribuidora   |
|                                  | Agente   | Consumidor  |
| Supervisión Calidad de servicio  | CENACE   | ARCONEL   |
| Cumplimiento Calidad de servicio | Transmisor   | Empresa distribuidora   |
|                                  | Agente   |   |
|                                  | Propietario de instalaciones de transmisión        |   |
| Interrupción                     | -  | Interrupción originada por el transmisor excluida             |

## 7. PROPUESTAS DE REFORMAS

### 7.1. Calidad del Producto

En esta sección se realiza un análisis comparativo de los indicadores de calidad del producto actualmente establecidos en la regulación nacional, versus otras normas relacionadas con la calidad del servicio de transmisión. Además de esto, se proponen indicadores nuevos en base a normativas y regulaciones internacionales.

#### 7.1.1. Índices actuales

##### Nivel de voltaje

Los límites se obtienen del procedimiento definido en la regulación Nro. ARCERNR 004/20 “Planificación operativa, despacho y operación del sistema eléctrico de potencia”, según lo indica la regulación actual y se especifican en la tabla 18 [17].

**Tabla 18: Índice de Nivel de Voltaje**

| Nivel de voltaje [kV] | Índice           | Normal          |                 | Emergencia      |                 |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                       |                  | Límite inferior | Límite superior | Límite inferior | Límite superior |
| 138                   | Nivel de voltaje | -5%             | 5%              | -10%            | 6%              |
| 230                   |                  | -5%             | 5%              | -7%             | 6%              |
| 500                   |                  | -5%             | 5%              | -8%             | 7%              |

La norma ANSI C84.1 “Sistemas de energía eléctrica y clasificaciones de voltaje de equipos (60 Hercios)” determina que los sistemas a estos niveles de voltaje ajustan su valor de operación, lo que evita que se definan límites [18], por lo tanto, estos valores de la tabla 18 podrían ser incluidos en la actualización de regulación.

##### Contenido armónico de voltaje

La distorsión armónica individual y total se evalúan por medio de la norma IEEE 519 a nivel local, para lo cual define los límites que se presentan en la tabla 19.

**Tabla 19: Límites Contenido Armónico de Voltaje IEEE 519**

| Voltaje [kV]       | Armónico individual [%] | Distorsión armónica total, THD [%] |
|--------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 69 kV < V ≤ 161 kV | 1,5                     | 2,5                                |
| 161 kV < V         | 1                       | 1,5                                |

Del mismo modo, internacionalmente se emplea esta norma para el control de esta perturbación, por lo tanto, pueden mantenerse estos índices con los límites.

##### Balace de voltaje

El balace de voltaje es medido por medio del factor de desbalance de voltaje de secuencia negativa en la regulación local [9]. De igual manera, el factor es utilizado en otros países y los límites en las regiones de Colombia y Europa están en un rango entre el 1% y 2%.

Debido a que la perturbación se calcula del mismo modo internacionalmente con un límite mayor, se puede mantener el mismo factor con su límite

##### Contenido armónico de corriente

El contenido armónico individual y la distorsión total de la demanda (TDD) se evalúan según la norma IEEE 519 con los límites de las tablas 20 y 21 [3].

**Tabla 20: Límites Contenido Armónico (69kV < V ≤ 161kV)**

| SCR        | Orden Armónico Individual |             |             |             |             | TDD |
|------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
|            | 3 ≤ h < 11                | 11 ≤ h < 17 | 17 ≤ h < 23 | 23 ≤ h < 35 | 35 ≤ h < 50 |     |
| < 20       | 2                         | 1           | 0,75        | 0,3         | 0,15        | 2,5 |
| 20 < 50    | 3,5                       | 1,75        | 1,25        | 0,5         | 0,25        | 4   |
| 50 < 100   | 5                         | 2,25        | 2           | 0,75        | 0,35        | 6   |
| 100 < 1000 | 6                         | 2,75        | 2,5         | 1           | 0,5         | 7,5 |
| > 1000     | 7,5                       | 3,5         | 3           | 1,25        | 0,7         | 10  |



**Tabla 21: Límites Contenido Armónico (V>161kV)**

| SCR       | Orden Armónico Individual |                  |                  |                  |                  | TDD  |
|-----------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
|           | $3 \leq h < 11$           | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h < 50$ |      |
| < 25      | 1                         | 0,5              | 0,38             | 0,15             | 0,1              | 1,5  |
| 25 < 50   | 2                         | 1                | 0,75             | 0,3              | 0,15             | 2,5  |
| $\geq 50$ | 3                         | 1,5              | 0,15             | 0,45             | 0,22             | 3,75 |

Donde:

SCR: Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de IL

La norma se emplea en regulaciones internacionales, por lo cual pueden mantenerse los mismos indicadores y límites.

*Factor de potencia de la carga*

Se evalúa de acuerdo con sus variaciones respecto a los límites establecidos por CONELEC mediante la regulación CONELEC Nro. 004/02 “Transacciones de Potencia Reactiva del MEM” [9].

A los grandes consumidores conectados al SNT se les controla este factor, por lo cual debe mantenerse al igual que sus límites.

*Balance de corriente*

Se evalúa en la regulación actual de calidad de transmisión por medio del factor de desbalance de corrientes de carga de secuencia negativa (MV2) [9].

Por el contrario, no se encontró que este parámetro sea regulado en otros países ni normas que abarquen este tema a nivel de transmisión, por lo tanto, se sugiere que se revise la necesidad de considerar este parámetro en la actualización de la regulación.

**7.1.2. Índices Nuevos**

*Parpadeo*

El parpadeo es un aspecto de calidad del producto que se considera internacionalmente y se define como la impresión subjetiva de luminancia fluctuante causada por fluctuaciones de voltaje [4]. Las normas IEEE 1453 e IEEE 1250 abarcan este parámetro a niveles de alto y extra alto voltaje definiendo índices y niveles de planificación que son la base para establecer límites, lo cual se muestra en la tabla 22 [4], [6].

**Tabla 22. Índice de Parpadeo.**

| Nivel de voltaje [kV] | Índice                           | Nivel de planificación |                  |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|------------------|
|                       |                                  | L <sub>Pst</sub>       | L <sub>Pit</sub> |
| 138                   | Severidad de corto y largo plazo | 0.8                    | 0.6              |
| 230                   |                                  |                        |                  |
| 500                   |                                  |                        |                  |

*Frecuencia*

La frecuencia es un aspecto de calidad que se emplea

en países como Colombia y Perú y se define como el número de ciclos por segundo de la onda sinusoidal de corriente o voltaje [20]. De la frecuencia se mide su variación como se presenta en la tabla 23.

**Tabla 23. Índice de Frecuencia**

| Nivel de voltaje | Índice                  |
|------------------|-------------------------|
| Alto voltaje     | Variación de frecuencia |

**7.2. Calidad del Servicio**

En esta sección se proponen reformas considerando la evolución del SNT, límites y aspectos de control de calidad del servicio, mediante el análisis de la información estadística del SNT, los resultados del diagnóstico y la metodología de cálculo de valores de referencia.

*Instalaciones*

La regulación de calidad de transmisión considera en el control de calidad del servicio a los circuitos de transmisión que operan a voltajes mayores a 90 kV, por lo tanto, es necesario que se incluyan los circuitos de transmisión a 500 kV en la regulación actualizada.

*Límites de indicadores de circuitos transmisión 500 kV*

Al incorporarse estos circuitos en la regulación actualizada, se deben fijar su NDP y LHI de los indicadores de calidad del servicio.

Esta instalación alcanzó un valor máximo de ND cercano al NDP de los otros circuitos, mientras que su valor máximo de HI fue elevado y ciertas HI superaron las 10 y 100 horas, las cuales deberían ser analizadas detalladamente, sin embargo, el NDP y el LHI de esta instalación podrían ser los mismos valores que de los circuitos de transmisión a 138 kV y 230 kV.

*Límites de indicadores de las instalaciones consideradas en la regulación actual*

Los valores máximos del ND de las instalaciones no sobrepasaron las 7 desconexiones, asimismo, el número de incumplimientos del NDP en el periodo de diagnóstico fue bajo, por lo tanto los NDP de las instalaciones pueden mantenerse iguales.

Del mismo modo, hubo pocos incumplimientos del LHI durante el periodo de diagnóstico, por lo cual los LHI de las instalaciones pueden mantenerse iguales.

*Excepción sobre indisponibilidades*

Las indisponibilidades menores o iguales a 1 minuto y las que se excluyen en la regulación actual no se deberían considerar en el cálculo de los indicadores.

*Factor de calidad de servicio*

El factor permite conocer rápidamente si se incumplieron los límites de los indicadores, por lo cual puede mantenerse este factor en la regulación.



### Control de calidad

Existieron ND y HI mensuales que sobrepasaron el NDP y LHI respectivamente. En este contexto, con el fin de mejorar el control de calidad del servicio se recomienda que se tomen acciones al momento que se identifiquen estos incumplimientos para evitar que las instalaciones del SNT se vean afectadas. Un medio para disminuir este tipo de indisponibilidades es la implementación de penalizaciones que se categoricen en función de los incumplimientos, de acuerdo con su valor y reiteración, tal como se indica en la tabla 16.

### Informes

En el mismo sentido, existieron eventos que con una sola indisponibilidad superaron el LHI, al ser valores muy atípicos se podrían categorizar como graves para priorizar la entrega y análisis de su informe para evitar que las HI sigan incrementándose.

### Articulación

Las regulaciones de calidad de distribución y transmisión establecen los responsables en la supervisión y cumplimiento de calidad, con lo que no existen contradicciones; de igual manera, los indicadores en distribución excluyen las interrupciones del transmisor.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

En este artículo, se presentó un análisis de la evolución de los índices de calidad del servicio de la transmisión en el Ecuador, con el fin de realizar un diagnóstico de la situación de la calidad de la transmisión 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 Regulación No. CONELEC- 003/08, guardan coherencia con los que aplican otros reguladores a nivel de Latinoamérica; sin embargo, sería factible la incorporación de nuevos índices de calidad relacionados con la calidad producto técnico del SNT en la actualización de la regulación.

Para el análisis de los indicadores que deben ser objeto de control y monitoreo para el tema de la calidad, se estudiaron las siguientes normas: IEEE 1366, IEEE 1159, IEEE 519, IEEE 1453, IEEE 1564, IEEE 1250 y EN 50160; y con base a este análisis normativo y evaluación regulatoria se identificó que los siguientes indicadores deberían ser incluidos en la actualización de la regulación: interrupción (horas de indisponibilidad, número de desconexiones y factor de calidad de servicio), nivel de voltaje, contenido armónico de voltaje (distorsión armónica individual y total), balance de voltaje (factor de desbalance de voltaje de secuencia negativa), contenido armónico de corriente (contenido armónico individual y distorsión total de la demanda),

balance de corriente (factor de desbalance de corrientes de carga de secuencia negativa), factor de potencia, parpadeo (severidad de corto y largo plazo), y frecuencia (variación).

Se verificó que la evolución en los niveles de los indicadores actuales de calidad del servicio: número de desconexiones, horas de indisponibilidad y factor de calidad de servicio, ha sido acorde con la evolución del Sistema Nacional de Transmisión, dado que en el año 2020 se alcanzó el menor número de incumplimientos de los límites frente a lo que se tenía en años anteriores y en comparación al año 2012, las horas de indisponibilidad y los incumplimientos disminuyeron. Es decir que a medida que se ha expandido en SNT y ha mejorado su confiabilidad, los índices de calidad también han mejorado.

Por otra parte, se verificó que los límites para los índices *número de desconexiones* y *horas de indisponibilidad semestrales* de las instalaciones consideradas en la regulación actual deben permanecer igual, puesto que si bien, el número de incumplimientos de estos valores fue bajo, aún se mantienen ciertos eventos de interrupciones con duración alta, por lo tanto, no sería del todo recomendable limitar estos índices aún, pero sí su categorización para un control más adecuado.

La categorización de los incumplimientos de los límites en los indicadores de calidad, así como de las fallas excesivas, en función a su valor y reiteración para su sanción, reducirá indisponibilidades elevadas.

Asimismo, del estudio realizado se recomienda que los circuitos de transmisión a 500 kV se incorporen a la nueva regulación, para lo cual, en base a los resultados del análisis estadístico de interrupciones, se recomienda que los límites para *número de desconexiones* y *horas de indisponibilidad semestrales* como punto de partida, sean los mismos valores que de los circuitos a 138 kV y 230 kV.

Finalmente, de la revisión y comparación entre las regulaciones de calidad de distribución y transmisión se estableció que no hay contradicciones, dado que los indicadores de distribución excluyen las interrupciones del transmisor, por lo cual, la articulación es adecuada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Standard 1366, 2003.
- [2] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard 1159, 1995.
- [3] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Standard 519, 2014.
- [4] IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems, IEEE Standard 1453, 2015.



- [5] D. Sabin, Overview of IEEE STD 1564-2014 Guide for Voltage Sag Indices, 2015.
- [6] C. Payne, An Overview of IEEE 1250-Guide for Identifying and Improving Voltage Quality in Power Systems, 2017.
- [7] CENELEC – EN 50160 Voltage Characteristics of electricity supplied by public electricity networks [Online]. Available: <https://standards.globalspec.com/std/13493775/EN%2050160>
- [8] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2018.
- [9] Regulación No. CONELEC – 003/08 Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado, Ecuador, 2008.
- [10] Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, Perú, 2010.
- [11] Contrato de concesión TRANSPA S.A, Argentina.
- [12] Metodología y Fórmulas Tarifarias para la Remuneración de la Actividad de Transmisión de Energía Eléctrica en el Sistema de Transmisión Nacional, Colombia, 2009.
- [13] Normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables en el Sistema Interconectado Nacional, Colombia, 2012.
- [14] Council of European Energy Regulators, 6TH CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas supply, 2016.
- [15] Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, 2015.
- [16] Regulación No. ARCONEL – 005/18 Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, Ecuador, 2018.
- [17] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2020.
- [18] American National Standard Electric Power Systems and Equipment- Voltage Ratings, ANSI Standard C84.1-2011.
- [19] Australian Power Quality and Reliability Centre, Rapid Voltage Changes, Australia, 2021, pp.4.
- [20] S. Gallardo, Prevención de riesgos eléctricos, España, 2016, pp.4.



**Sergio David Vargas.** - Nació en Machachi, Ecuador en 1996. Recibió su título de Bachiller en Ciencias Generales del Colegio Nacional Amazonas en 2015. Actualmente es estudiante egresado de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional.



**Ximena Patricia Gavela.** – Doctora en ingeniería eléctrica. Ha trabajado en las áreas de regulación y control de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad y dentro del sector privado. Actualmente se desempeña como docente e investigadora en la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son las técnicas de optimización aplicables a sistemas de potencia, energías renovables, mercados energéticos y aspectos normativos y regulatorios del sector eléctrico.



**Leonardo Santiago Moncada C.** – Nació en Loja en 1985. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2011. En el año 2013, obtuvo un Diplomado en Economía de la Regulación de la Universidad de San Andrés – Argentina, y en el 2022 el Master en Gestión Ambiental y Energética de las Organizaciones en la Universidad Internacional de La Rioja – UNIR. Actualmente trabaja en CELEC EP GENSUR como Subgerente de Producción. Sus áreas de interés incluyen la asignación de costos del Servicio Público de Energía Eléctrica, tarifas eléctricas, energías renovables, eficiencia energética y minería de datos.