

**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LA  
POTENCIA ELÉCTRICA DE LAS SUBESTACIONES PIEDECUESTA Y  
WILCHES DE LA EMPRESA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER**

**EDWIN GILBERTO GÓMEZ CÁCERES  
ENRIQUE JAVIER RUEDA BECARÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LA  
POTENCIA ELÉCTRICA DE LAS SUBESTACIONES PIEDECUESTA Y  
WILCHES DE LA EMPRESA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER**

**EDWIN GILBERTO GÓMEZ CÁCERES  
ENRIQUE JAVIER RUEDA BECARÍA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Especialización en Sistemas de Distribución Eléctrica**

**Director:  
Gabriel Ordóñez Plata  
Doctor en Ingeniería Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA  
BUCARAMANGA  
2015**

## DEDICATORIA

*A Dios, a mis padres por sus enseñanzas, apoyo y respaldo, a la Electrificadora de Santander por la oportunidad de cursar la especialización y a mis compañeros de empresa quienes me brindaron su apoyo y colaboración.*

***Edwin Gilberto Gómez***

*A Dios, a mi esposa quien siempre me apoya y me motiva a seguir adelante, a mi madre por sus consejos, a mi padre quien me dejó buenas enseñanzas a mis compañeros y empresa por su apoyo.*

***Enrique Javier Rueda Becaría***

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 DEFINICIONES RELACIONADAS CON LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	19
1.2.1 Niveles de tensión	19
1.2.2 Valor eficaz de la tensión	19
1.2.3 Tensión nominal	19
1.2.4 Tensión eficaz refrescada cada semiperíodo Uef (1/2)	19
1.2.5 Distorsión armónica total de tensión (THDV)	20
1.2.6 Perceptibilidad de corta duración de la señal de tensión (Pst)	20
1.2.7 Desbalance de tensión (V2/V1)	20
1.2.8 Distorsión armónica total de corriente (THDI)	20
1.2.9 Distorsión Total de Demanda (TDD)	21
2. LÍMITES DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LA POTENCIA	22
2.1 LÍMITES DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL PARPADEO DE CORTA DURACIÓN (PST)	22
2.2 LÍMITES DEL DESBALANCE DEL SISTEMA CON LA RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES DE LAS COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LAS TENSIONES DE SECUENCIA NEGATIVA Y SECUENCIA POSITIVA (V2/V1)	22
2.3 LÍMITES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE TENSIÓN (THDV)	23
2.4 LÍMITES DE LA DISTORSIÓN TOTAL DE DEMANDA (TDD)	24
3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LAS SUBESTACIONES DE PIEDECUESTA Y PUERO WILCHES	26
3.1 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LA POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE PIEDECUESTA DE 115 KV	26

3.1.1	Obtención de los valores característicos de los indicadores de flicker (Pst) y desbalance (V2/V1) de la subestación de Piedecuesta de 115 kV	27
3.1.2	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Piedecuesta de 115 kV	29
3.1.3	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Piedecuesta de 115 kV	32
3.2	SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES DE 115 KV	33
3.2.1	Obtención De Los Valores Característicos De Los Indicadores De Flicker (Pst) Y Desbalance (V2/V1) De La Subestación De Puerto Wilches De 115 Kv	34
3.2.2	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Puerto Wilches de 115 kv	36
3.2.3	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Puerto Wilches de 115 Kv	39
3.3	SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES DE 34,5 KV	40
3.3.1	Obtención de los valores característicos de los indicadores de flicker (Pst) y desbalance (V2/V1) de la subestación de Puerto Wilches de 34,5 kV	40
3.3.2	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Puerto Wilches de 34,5 kV	43
3.3.3	Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Puerto Wilches de 34,5 kV	45
4.	ANÁLISIS DE EVENTOS TRANSITORIOS	48
4.1	ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PIEDECUESTA 115 kV	48

4.2 ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES 115 kV	49
4.3 ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES 34.5 kV	51
5. CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	58

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 3.1 Diagrama unifilar de la S/E Piedecuesta	27
Figura 3.2 Promedio durante el mes de noviembre del 2014 del indicador Pst para la S/E Piedecuesta.	28
Figura 3.3 Promedio durante el mes de noviembre del 2014 del indicador de desbalance V2/V1 para la S/E Piedecuesta.	29
Figura 3.4 Armónicos de tensión S/E Piedecuesta 115 kV.	31
Figura 3.5 Diagrama Unifilar S/E Puerto Wilches.	34
Figura 3.6 Promedio durante el mes de noviembre del 2014 del indicador Pst para la S/E Puerto Wilches en la barra de 115 kV.	35
Figura 3.7 Promedio durante el mes de noviembre del 2014 del indicador de desbalance V2/V1 para la S/E Puerto Wilches en la barra de 115 Kv	36
Figura 3.10 Promedio durante el mes de noviembre del 2014 del indicador de desbalance V2/V1 para la S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.	42
Figura 3.11 Armónicos de tensión S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.	44
Figura 4.2 Promedio de fluctuaciones Sag de acuerdo a su depresión de tensión en la S/E Piedecuesta	49
Figura 4.4 Promedio de fluctuaciones Sag de acuerdo a su depresión de tensión en la S/E Puerto Wilches	51
nivel de tensión 34,5 kV de acuerdo a su depresión de tensión	53

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1 Niveles del valor eficaz de la tensión en los sistemas de distribución [10].	19
Tabla 2.1 Límites para el Pst.	22
Tabla 2.2 Límites para la relación $V_2/V_1$ .	23
Tabla 2.3 Límites para la Distorsión Armónica.	23
Tabla 2.4. Límites de distorsión armónica individual y de la TDD para los niveles de tensión 1, 2 y 3.	24
Tabla 2.5 Límites de distorsión armónica individual y de la TDD para el nivel de tensión 4.	24
Tabla 2.6 Límites de distorsión armónica individual y TDD para el STN. Tomada de [4].	25
Tabla 3.1 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst – $V_2/V_1$ en la S/E Piedecuesta de 115 kV.	28
Tabla 3.2 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores THDV y HD de la S/E Piedecuesta de 115 kV.	30
Tabla 3.3 Cálculo del <b>Isc/IL</b> Para todo el periodo evaluado HD de la S/E Piedecuesta de 115 kV.	32
Tabla 3.4 Límites de distorsión armónica individual y del indicador TDD para el nivel de tensión 4.	32
Tabla 3.5 Cálculo del valor TDD por semanas HD de la S/E Piedecuesta de 115 kV.	33
Tabla 3.6 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst – $V_2/V_1$ en la S/E Puerto Wilches de 115 kV.	35
Tabla 3.7 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores THDV y HD de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.	37
Tabla 3.8 Cálculo del <b>Isc/IL</b> Para todo el periodo evaluado HD de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.	39

Tabla 3.9 Cálculo del valor TDD por semanas HD de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.	40
Tabla 3.10 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst – V2/V1 en la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.	41
Tabla 3.12 Cálculo del <b>Isc/IL</b> Para todo el periodo evaluado HD de la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.	46
Tabla 3.13 Límites de distorsión armónica individual y del indicador TDD para el nivel de tensión 1, 2 y 3.	46
Tabla 3.14 Cálculo del valor TDD por semanas de la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.	47
Tabla 4.1 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Piedecuesta 115 kV.	48
Tabla 4.3 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Puerto Wilches 115 kV	50
Tabla 4.5 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Puerto Wilches 34,5 kV	52

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA DE LAS SUBESTACIONES PIEDECUESTA Y PUERTO WILCHES DE LA EMPRESA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER

**AUTOR:** ING. EDWIN GILBERTO GÓMEZ CÁCERES\*\*  
ING. ENRIQUE JAVIER RUEDA BECARIA

**PALABRAS CLAVE:** Evaluación, parámetros de la calidad de potencia, subestaciones Piedecuesta y Puerto Wilches.

### DESCRIPCIÓN:

El plan de negocios de ESSA 2013 – 2027 se enfoca en cinco pilares de valor, siendo una de las más importantes el aseguramiento de la Calidad del Servicio, la cual encierra dos ítems: confiabilidad de servicio y calidad de la potencia eléctrica.

Hoy en día la empresa Electrificadora de Santander enfrenta un gran problema en la búsqueda de estas metas, el cual es la incertidumbre de la calidad de la potencia eléctrica, este incluye: la forma de onda, la frecuencia, el valor eficaz de la señal de tensión entregada a los clientes, el problema corresponde a que se desconoce la calidad de la potencia eléctrica que la empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) suministra a sus clientes, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales.

La realización de la evaluación del estado actual de la calidad de la potencia eléctrica de dos importantes subestaciones de la ESSA (Piedecuesta y Wilches) frente a los parámetros establecidos en los estándares internacionales (IEEE 519, EN 50160), la normativa nacional NTC 5001 y las disposiciones del proyecto de resolución CREG 065 de 2012, tendrá efectos favorables para la empresa.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica. Director: PhD Gabriel Ordoñez Plata.

## SUMMARY

**TITLE:** ELECTRIC POWER QUALITY PARAMETERS ASSESSMENT OF ELECTRIFICADORA DE SANTANDER SUBSTATIONS PIEDECUESTA AND PUERTO WILCHES

**AUTHOR:** ENG. EDWIN GILBERTO GÓMEZ CÁCERES\*\*  
ENG. ENRIQUE JAVIER RUEDA BECARIA

**KEYWORDS:** Assessment, power substations quality parameters, Piedecuesta and Puerto Wilches

### **DESCRIPTION:**

The ESSA business plan 2013 - 2027 focuses on five value topics; one of the most important assurance is quality service, which contains two topics: service reliability and quality electric power quality. Electrificadora de Santander is nowadays facing a serious problem in the pursuit of these goals, which is the uncertainty of the electric power quality, this includes: the waveform, frequency and rms signal voltage delivered to customers; corresponds to the problem that electric power company quality is unknown to Electrificadora de Santander SA E.S.P. (ESSA) provides its customers, according to national and international standards.

The completion of the current state electric power quality assessment of two major substations of ESSA (Piedecuesta and Puerto Wilches) against the parameters of international standards (IEEE 519, EN 50160), the national legislature NTC 5001 and the draft resolution provisions CREG 065 in 2012, will have positive effects for the company.

---

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical Engineering, Electronic and Telecommunication. Specialization in Distribution Systems. Director: PhD. Gabriel Ordoñez Plata.

## INTRODUCCIÓN

El plan de negocios 2013 – 2027 de ESSA, se orienta a actuar desde cinco palancas de valor, siendo una ellas el aseguramiento de la calidad del servicio [6], entendiéndose con ello dos grandes grupos: Calidad del Servicio que es la continuidad del servicio eléctrico o “confiabilidad” y calidad de la potencia eléctrica es decir calidad del producto técnico, considerando el comportamiento de las variables de tensión y corriente.

Uno de los problemas que enfrenta hoy la empresa, es sin duda, la incertidumbre de la calidad de la potencia eléctrica de todo el sistema, que incluye: La forma de onda, la frecuencia, el valor eficaz de la señal de tensión que se está entregando a los clientes, no porque la señal de tensión no sea adecuada, sino porque no se tiene una valoración de la calidad de señal de tensión suministrada a todos los clientes, frente a la exigencia de los parámetros nacionales e internacionales, debido a la ausencia de los suficientes equipos de medida que realicen esta medición y evaluación.

En síntesis, el problema corresponde a que no se conoce la calidad de la potencia eléctrica que la empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA) suministra a todos sus clientes, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales.

La realización de la evaluación del estado actual de la calidad de la potencia eléctrica de dos importantes subestaciones de la ESSA (Piedecuesta y Wilches) frente a los parámetros establecidos en los estándares internacionales (IEEE 519, EN 50160), la normativa nacional NTC 5001 y las disposiciones del proyecto de resolución CREG 065 de 2012, tendrá efectos favorables para la empresa, dentro de los cuales se pueden mencionar:

- El diagnóstico de la calidad de la potencia eléctrica de la ESSA frente a los estándares internacionales y nacionales.
- De acuerdo con el diagnóstico realizado, la empresa podrá prepararse para cumplir con los requerimientos regulatorios frente al tema de la calidad de la potencia eléctrica.
- Los resultados económicos podrían evidenciarse al evitar sanciones por incumplimiento de la calidad de la potencia entregada.
- Mejorará la percepción de la empresa ante los clientes, especialmente los grandes clientes que cuentan con procesos industriales para quienes una adecuada calidad de la energía eléctrica es importante para sus procesos.

El propósito de este trabajo es proporcionar las primeras herramientas a la Electrificadora de Santander para mejorar el estado de la calidad de onda de potencia eléctrica suministrada en estas dos subestaciones objeto de estudio, con lo cual pretendemos motivar a los diferentes equipos de trabajo encargados de la Administración, Operación y Mantenimiento del Sistema de Distribución Local para organizar un grupo interdisciplinario el cual elabore y lleve a cabo un estudio más detallado y riguroso de los hallazgos encontrados , sus causas y mejoras.

Para el desarrollo de la monografía se dispondrá de la información disponible de parámetros del sistema eléctrico de los medidores ION 7650 recientemente instalados en las subestaciones a evaluar. El comportamiento dinámico de estos datos será analizado y comparado con los niveles establecidos por normativas nacionales e internacionales para realizar un diagnóstico de las subestaciones desde la óptica de la calidad de la potencia eléctrica.

## 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene los antecedentes de las causas del estudio realizado a la calidad de potencia suministrada en las subestaciones de Piedecuesta y Puerto Wilches.

### 1.1 ANTECEDENTES

Desde la divulgación de la Ley 142 de 1994 se abrieron alternativas para controlar todo el tema de servicios públicos domiciliarios, así mismo, la Ley 143 del mismo año, establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el territorio nacional, con el objetivo de asegurar una adecuada prestación del servicio mediante el aprovechamiento eficiente de los diferentes recursos energéticos [5], [7].

Con relación a la calidad de la potencia, la resolución CREG 070 de 1998 estableció en el numeral 6.2 los estándares del servicio suministrado por los diferentes operadores y definió los siguientes indicadores: frecuencia y tensión, contenido de armónicos de las ondas de tensión y corriente, *flicker*, factor de potencia, transitorios electromagnéticos rápidos y fluctuaciones de tensión [5], [8].

Posteriormente en el año 2000 la resolución CREG 096, trasladó lo relacionado a las variables de frecuencia del numeral 6.2.1.1 al código de operación incluido en el código de redes; luego recomendó tanto al operador como al usuario el uso de la recomendación IEEE 519 de 1992 en el análisis de armónicos y *flicker*, por último en el numeral 6.2.2 estableció un procedimiento de desconexión de cargas o usuarios que produjeran perturbaciones electromagnéticas en el sistema [5] [9].

La resolución CREG 024 de 2005 establece que los indicadores de distorsión armónica total de tensión THDV y el desbalance mediante la relación entre las

magnitudes de la secuencia negativa y la secuencia positiva ( $V(2)/V(1)$ ) de un sistema trifásico, se deben registrar en barra y que los equipos adicionalmente deben estar en capacidad de medir hundimientos y picos de tensión, continuidad del servicio de energía eléctrica, la desviación estacionaria del valor eficaz de la tensión, y el *flicker* que se presente en la onda de tensión con el índice PST. Además explica cuáles son los requisitos de almacenamiento de los indicadores propuestos y presenta los formatos para el registro de datos en las tablas CEL y ET [5] [2] en la resolución CREG 097 de 2008.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha venido exigiendo que las empresas suministradoras de la energía eléctrica, se preocupen cada vez más por la calidad del servicio y la potencia que suministran a sus clientes con el esquema de calidad [5] [10].

Recientemente con la divulgación del proyecto de resolución CREG 065 de 2012, se evidenció definitivamente la intención de la CREG de exigir a las empresas operadoras de red (OR), tomar medidas para garantizar altos estándares de calidad y de la potencia y entregó nuevas pautas que deben seguir los OR para controlar todos los aspectos relacionados con el tema [5] [3].

La Electrificadora de Santander concedora del tema, ha visto dificultades de carácter nacional por la situación histórica del país en cuanto a ley de garantías que dificultan los procesos de contratación, así como situaciones internas como procesos de reestructuración, situaciones presupuestales y prioridades de modernización de la infraestructura, que han impedido ahondar esfuerzos para controlar y medir los parámetros de la calidad de la potencia, siendo este trabajo de monografía la oportunidad precisa para realizar la evaluación de los parámetros de calidad de la potencia frente a los estándares internacionales de acuerdo a las disposiciones regulatorias.

## 1.2 DEFINICIONES RELACIONADAS CON LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

A continuación se darán las definiciones de los términos técnicos utilizados en el capítulo

**1.2.1 Niveles de tensión.** Un aspecto importante en la calidad de la energía eléctrica es la magnitud del valor eficaz de la tensión suministrada por el operador de red. En este sentido, la resolución CREG 097 de 2008 define los siguientes niveles del valor eficaz de la tensión para el sistema interconectado nacional [5].

Tabla 1.1 Niveles del valor eficaz de la tensión en los sistemas de distribución [10].

NIVELES DE TENSIÓN	
Nivel de Tensión 1	<1 kV
Nivel de Tensión 2	1-30 kV
Nivel de Tensión 3	30 -57,5 kV
Nivel de Tensión 4	57,5 -220 kV

**1.2.2 Valor eficaz de la tensión.** El valor eficaz de la tensión se define como la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores instantáneos de una magnitud durante un intervalo de tiempo determinado [5].

**1.2.3 Tensión nominal.** Es el valor eficaz de la tensión por la que una red se designa o identifica, es decir es el valor eficaz de la tensión asignado a un sistema de suministro de energía eléctrica [5].

**1.2.4 Tensión eficaz refrescada cada semiperíodo Uef (1/2).** De acuerdo con el estándar IEC 61000-4-30, es el valor de la tensión eficaz medida en un período, comenzando en un paso por cero, de la componente fundamental y refrescada en cada medio ciclo [5].

**1.2.5 Distorsión armónica total de tensión (THDV).** Es un indicador que relaciona el valor eficaz de las componentes armónicas de la señal de tensión con respecto al valor eficaz de la componente fundamental de la tensión, expresada en porcentaje. Se debe determinar para cada fase del sistema trifásico y según la resolución CREG 024 del 2005, esta medida debe ser de Clase A según lo establecido en el numeral 5.8 del Estándar IEC 61000-4-30 de 2008, y debe reportarse cada 10 minutos [4].

**1.2.6 Perceptibilidad de corta duración de la señal de tensión (Pst).** Es un indicador que mide la intensidad de la molestia provocada por el parpadeo de una lámpara incandescente cuando la señal de tensión presenta “flicker”. Es evaluado en un período de 10 minutos de acuerdo con lo establecido por la norma IEC 61000-4-15 de 2010. La resolución CREG 024 del 2005 establece que se estimar en cada fase de acuerdo con el método de medida Clase A propuesto en el numeral 5.3 del Estándar IEC 61000-4-30 de 2008 [4].

**1.2.7 Desbalance de tensión ( $V_2/V_1$ ).** Es un indicador de la relación entre las magnitudes de la tensión de secuencia negativa con respecto a la tensión de secuencia positiva de la componente fundamental de las tres tensiones del sistema. La resolución CREG 024 del 2005 establece que se debe estimar de acuerdo con el método de medida Clase A propuesto en el numeral 5.7 del Estándar IEC 61000-4-30 de 2008, con un intervalo de agregación de 10 minutos [4].

**1.2.8 Distorsión armónica total de corriente (THDI).** Es un indicador que relaciona el valor eficaz de las componentes armónicas de la señal de corriente con respecto al valor eficaz de la componente fundamental de la corriente, expresada en porcentaje. Se debe determinar para cada fase del sistema trifásico y según la resolución CREG 024 del 2005, esta medida debe ser de Clase A

según lo establecido en el numeral 5.8 del Estándar IEC 61000-4-30 de 2008, y debe reportarse cada 10 minutos [4].

**1.2.9 Distorsión Total de Demanda (TDD).** Es un indicador que refleja el impacto de las distorsiones armónicas de corriente respecto a la carga máxima del sistema donde se realiza la medición. Se evalúa con base en el indicador THDI de la siguiente manera:

$$TDD = THDI * \frac{I_1}{I_L} \quad (1)$$

Donde:

I1: Valor eficaz de la corriente fundamental.

IL: Valor eficaz de la corriente de carga de demanda máxima en el punto de conexión [4].

## 2. LÍMITES DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LA POTENCIA

Los límites de los indicadores de calidad de la potencia están propuestos en el proyecto de resolución CREG 065 de 2012 [4]. A continuación se especificaran los límites propuestos en este documento.

### 2.1 LÍMITES DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL PARPADEO DE CORTA DURACIÓN (PST)

Para este indicador se establece que el percentil 95 de las mediciones del Pst realizadas en cualquier punto del SIN, durante una semana, debe ser menor o igual a los valores establecidos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Límites para el Pst.

Nivel de Tensión	Pst_95
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,9
STN	0,8

En el cálculo del Percentil 95 se deben utilizar los valores de Pst medidos en cada una de las fases.

### 2.2 LÍMITES DEL DESBALANCE DEL SISTEMA CON LA RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES DE LAS COMPONENTES FUNDAMENTALES DE LAS TENSIONES DE SECUENCIA NEGATIVA Y SECUENCIA POSITIVA (V2/V1)

Para este indicador se establece que el percentil 95 de las mediciones de la relación  $V_2/V_1$  realizadas en cualquier punto del SIN, durante una semana, debe ser menor o igual a los valores establecidos en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1 Límites para la relación  $V_2/V_1$ .

Nivel de Tensión	Relación $V_2/V_1_{95}$
1	2,0 %
2	2,0 %
3	2,0 %
4	1,5 %
STN	1,5 %

Para los Niveles de Tensión 1, 2, y 3, el Percentil 99 de las mediciones de la Relación  $V_2/V_1$  realizadas durante una semana, debe ser menor o igual a 3%.

### 2.3 LÍMITES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE TENSIÓN (THDV)

El percentil 95 de las mediciones de la distorsión armónica total de tensión, THDV, y los límites de la distorsión armónica individual estimadas en cualquier punto del SIN, durante una semana, debe ser menor o igual a los valores establecidos en la Tabla 2.3.

Tabla 2.2 Límites para la Distorsión Armónica.

Nivel de Tensión	THDV_95	Distorsión armónica individual
1	5,0 %	3,0 %
2	5,0 %	3,0 %
3	5,0 %	3,0 %
4	2,5 %	1,5 %
STN	1,5 %	1,0 %

## 2.4 LÍMITES DE LA DISTORSIÓN TOTAL DE DEMANDA (TDD)

El percentil 95 de los valores de la distorsión total de demanda (TDD) y de la distorsión armónica individual en el punto de conexión de usuarios, durante una semana, debe ser menor o igual a los valores establecidos en las tablas 2.4 a 2.6.

Tabla 2.3. Límites de distorsión armónica individual y de la TDD para los niveles de tensión 1, 2 y 3.

Relación I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	Distorsión armónica individual					TDD <sub>95</sub>
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 17$	
$I_{sc}/I_L < 20$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0 %
$20 \leq I_{sc}/I_L < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0 %
$50 \leq I_{sc}/I_L < 100$	10	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0 %
$100 \leq I_{sc}/I_L < 1000$	12	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0 %
$I_{sc}/I_L \geq 1000$	15	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0 %

Tabla 2.4 Límites de distorsión armónica individual y de la TDD para el nivel de tensión 4.

Relación I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	Distorsión armónica individual					TDD <sub>95</sub>
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 17$	
$I_{sc}/I_L < 20$	2,0	1,00	0,75	0,30	0,15	2,5 %
$20 \leq I_{sc}/I_L < 50$	3,5	1,75	1,25	0,50	0,25	4,0 %
$50 \leq I_{sc}/I_L < 100$	5,0	2,25	2,00	0,75	0,35	6,0 %
$100 \leq I_{sc}/I_L < 1000$	6,0	2,75	2,50	1,00	0,50	7,5 %
$I_{sc}/I_L \geq 1000$	7,0	3,50	3,00	1,25	0,70	10,0 %

Tabla 2.5 Límites de distorsión armónica individual y TDD para el STN. Tomada de [4].

Relación $I_{sc}/I_L$	Distorsión armónica individual					TDD_95
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 17$	
$I_{sc}/I_L < 25$	1,0	0,5	0,38	0,15	0,10	1,50
$25 \leq I_{sc}/I_L < 50$	2,0	1,0	0,75	0,30	0,15	2,50
$I_{sc}/I_L \geq 1000$	3,0	1,5	1,15	0,45	0,22	3,75

Dónde:

$I_{sc}$ : Es la mínima corriente de corto circuito trifásica presente en el punto de conexión. En el caso de conexiones monofásicas se debe utilizar la corriente de corto circuito monofásica.

$I_L$ : Corresponde a la corriente de carga de demanda máxima en el punto de conexión.

Para los puntos de conexión de generación se deberán cumplir, en cada nivel de tensión aplicable, los límites establecidos para la menor relación  $I_{sc}/I_L$ .

Los límites para los componentes armónicos pares de distorsión armónica individual serán iguales al 25% de los establecidos en las anteriores tablas para los componentes impares.

### **3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LAS SUBESTACIONES DE PIEDECUESTA Y PUERO WILCHES**

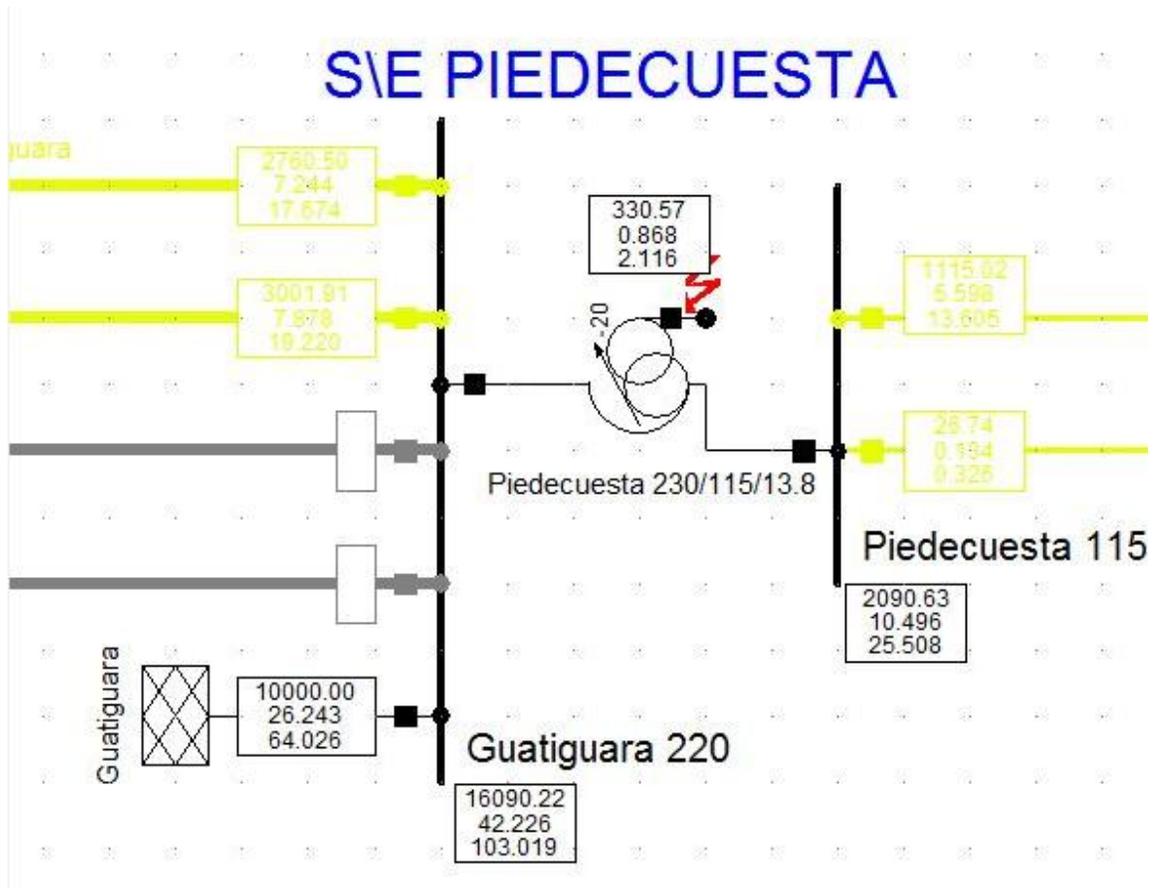
La información con la cual se realizó el análisis de los indicadores de la calidad de la potencia, corresponden al periodo comprendido entre el 1 y el 28 de noviembre de 2014 mediante los medidores ION 7650 y ACCESS 9610 ([12], [13]) instalados en las barras principales de las subestaciones Piedecuesta 115 kV y Puerto Wilches 115 kV y 34,5 kV.

El tiempo de agregación de la muestra es de 10 minutos de acuerdo a lo establecido en la recomendación IEEE519 de 1992 y el proyecto de resolución CREG 065 de 2012.

#### **3.1 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LA POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE PIEDECUESTA DE 115 KV**

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unifilar de esta subestación, la cual consta de 3 barras con niveles de tensión 220 kV 115 kV y 13,8 kV los demás detalles son propiedad comercial de ESSA.

Figura 3.1 Diagrama unifilar de la S/E Piedecuesta



**3.1.1 Obtención de los valores característicos de los indicadores de flicker (Pst) y desbalance ( $V_2/V_1$ ) de la subestación de Piedecuesta de 115 kV.** De acuerdo a los datos obtenidos con los equipos de medida instalados en la subestación Piedecuesta en la barra de 115 kV, se evalúa cada semana el valor característico de Pst para cada fase. De acuerdo con los datos de la Tabla 2.6, el límite del PST para un nivel de tensión 4 es 0,9 y teniendo en cuenta los datos de la Tabla 2.2, el límite del indicador de desbalance ( $V_2/V_1$ ) para este caso es 1,5

Tabla 3.1 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst – V2/V1 en la S/E Piedecuesta de 115 kV.

Semana	Pst_R ()	Pst_S ()	Pst_T ()	V2/V1 ()
1	0,293	0,297	0,303	0,4548%
2	0,264	0,271	0,279	0,4466%
3	0,236	0,238	0,253	0,4237%
4	0,222	0,225	0,237	0,4104%
Límite	0,9	0,9	0,9	1,5%

Evaluando el indicador **de flicker (Pst)**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Piedecuesta, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 (Ver Figura 3.2).

Evaluando indicador de desbalance (**V2/V1**), durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Piedecuesta, el indicador se encuentra **por debajo** del límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.3.

Figura 3.2 Indicador Pst durante las cuatro semanas del mes de noviembre del 2014 para la S/E Piedecuesta.

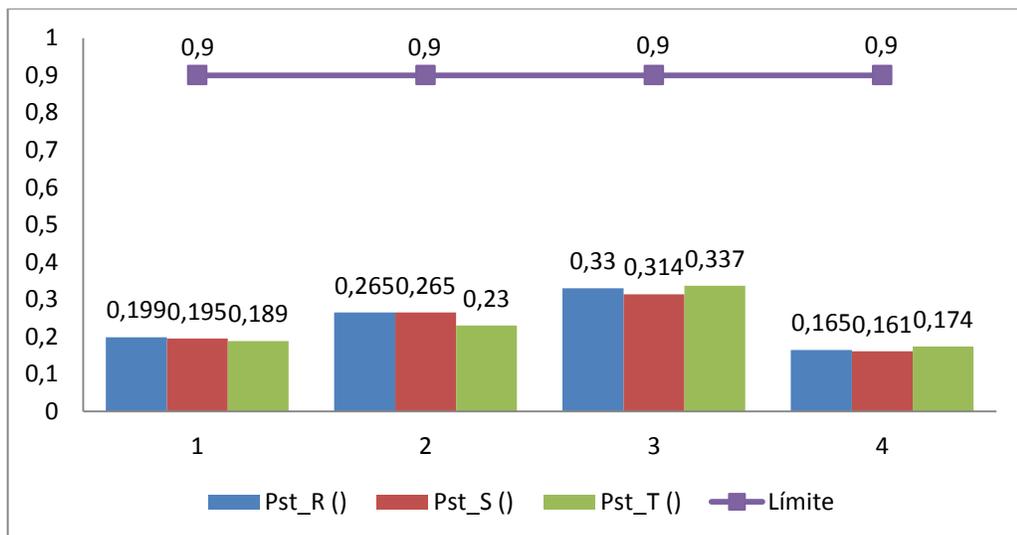
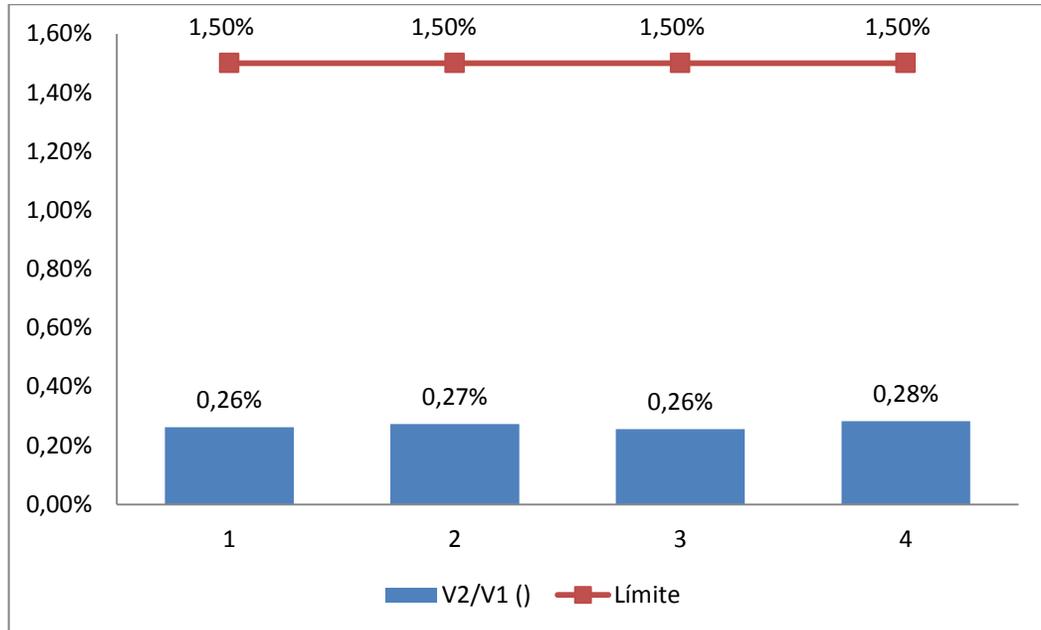


Figura 3.3 Indicador V2/V1 durante las cuatro semanas del mes de Noviembre del 2014 para la S/E Piedecuesta.



**3.1.2 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Piedecuesta de 115 kV.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Piedecuesta en la barra de 115 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 y distorsión armónica individual en cada fase. De acuerdo con la Tabla 2.3, el límite de distorsión armónica total de tensión (THDV) para el nivel 4 de tensión es del 2,5% y la distorsión armónica individual (HDV) es 1,5%. La Tabla 3.2 muestra los valores característicos obtenidos hasta la componente armónica de orden 15.

Tabla 3.2 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores THDV y HDV de la S/E Piedecuesta de 115 kV.

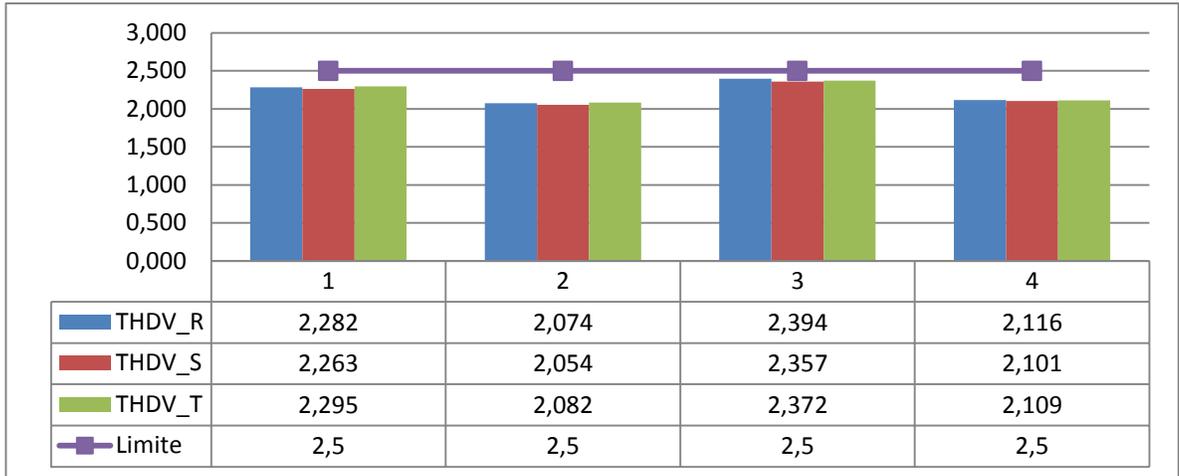
Semana	THDV_R	THDV_S	THDV_T	VR_HD3	VS_HD3	VT_HD3	VR_HD5	VS_HD5	VT_HD5
1	2,28178	2,26287	2,2954	0,17418	0,10701	0,10802	2,19058	2,16748	2,1964
2	2,07357	2,05422	2,08159	0,18302	0,11896	0,13588	2,01729	1,99095	2,01782
3	2,39418	2,35678	2,37243	0,16713	0,12447	0,10926	2,30334	2,25237	2,2743
4	2,11551	2,10127	2,10934	0,15659	0,11064	0,09653	2,06858	2,04554	2,05412
Limite	2,50%	2,50%	2,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%

Semana	VR_HD7	VS_HD7	VT_HD7	VR_HD9	VS_HD9	VT_HD9	VR_HD11	VS_HD11	VT_HD11
1	0,67782	0,74195	0,68575	0,05815	0,06058	0,0638	0,149975	0,157433	0,159759
2	0,68012	0,74449	0,66198	0,0586	0,06605	0,06342	0,150723	0,165334	0,15977
3	0,70447	0,76535	0,69805	0,06362	0,06774	0,07495	0,15701	0,167623	0,165379
4	0,53869	0,64892	0,57413	0,06595	0,06707	0,07661	0,135537	0,151042	0,147796
Limite	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%

Semana	VR_HD13	VS_HD13	VT_HD13	VR_HD15	VS_HD15	VT_HD15
1	0,141522	0,108932	0,102219	0,004942	0,003354	0,002317
2	0,145449	0,10653	0,105792	0,004651	0,002401	0,00258
3	0,121048	0,105939	0,092122	0,005521	0,004625	0,005339
4	0,122852	0,109235	0,092035	0,008649	0,008628	0,00835
Limite	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%

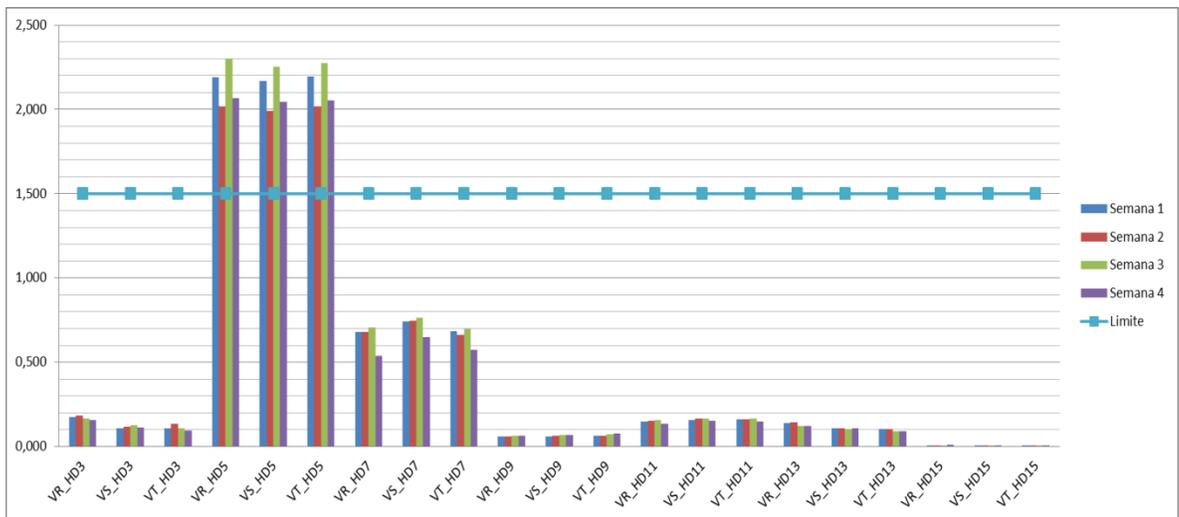
Evaluando el indicador **THDV percentil 95**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Piedecuesta, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.4

Figura 3.4 Evaluación del indicador (THDV) en la S/E Piedecuesta 115 kV



Evaluando indicador de **distorsión armónica individual (HDV) hasta el armónico 15**, durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Piedecuesta, en el quinto armónico el indicador se encuentra **por encima** del límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.5

Figura 3.5 Evaluación del indicador HDV en la S/E Piedecuesta 115 kV.



**3.1.3 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Piedecuesta de 115 kV.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Piedecuesta en la barra de 115 kV, se evalúa con la información total del mes de noviembre del 2014, el valor de la relación **Isc/IL** en cada fase y con este dato se establece el rango con el que se va a evaluar el indicador de acuerdo con la información de la Tabla 2.5, posteriormente se obtienen los valores característicos de la TDD para cada una de las cuatro semanas evaluadas y se compara con el límite correspondiente anteriormente seleccionado. En la Tabla 3.3 se muestran los valores de la relación **Isc/IL** obtenidos para el período de tiempo evaluado (noviembre del 2014).

Tabla 3.3 Cálculo del **Isc/IL** Para todo el periodo evaluado de la S/E Piedecuesta de 115 kV.

INDICADOR	TDD_R_95	TDD_S_95	TDD_T_95
Isc/IL	21,92791176	21,51886954	21,56749876

Con el valor obtenido de la relación **Isc/IL**, se obtiene el límite establecido para el nivel de tensión 4 en la evaluación del indicador TDD en la subestación Piedecuesta 115 kV como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Límites de distorsión armónica individual y del indicador TDD para el nivel de tensión 4.

Límites de distorsión armónica individual y TDD para el Nivel de Tensión 4						
Relación Isc/IL	Distorsión armónica individual					TDD_95
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 17	
Isc/IL < 20	2,0	1,00	0,75	0,30	0,15	2,5 %
20 ≤ Isc/IL < 50	3,5	1,75	1,25	0,50	0,25	4,0 %
50 ≤ Isc/IL < 100	5,0	2,25	2,00	0,75	0,35	6,0 %
100 ≤ Isc/IL < 1000	6,0	2,75	2,50	1,00	0,50	7,5 %
Isc/IL ≥ 1000	7,0	3,50	3,00	1,25	0,70	10,0 %

De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Piedecuesta en la barra de 115 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 de la distorsión total de la demanda y de la distorsión armónica individual de corriente. La Tabla 3.5 muestra los valores característicos obtenidos para el indicador TDD.

Tabla 3.5 Cálculo del valor TDD por semanas de la S/E Piedecuesta de 115 kV.

SEMANA	TDD_R_95	TDD_S_95	TDD_T_95
1	1,863784906	1,809533796	1,824184387
2	1,460110498	1,441360949	1,398536792
3	2,278067213	2,302271331	2,147498322
4	1,475255878	1,485923188	1,426893061
Límite	4,0	4,0	4,0

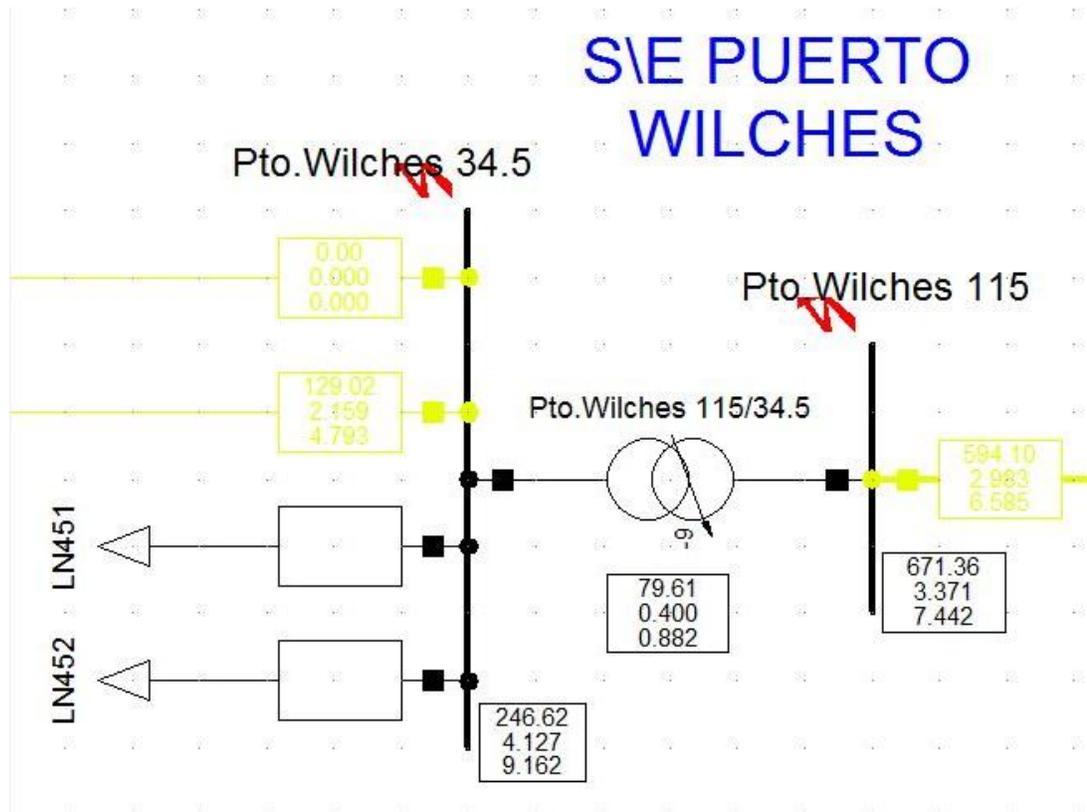
Evaluando el indicador **TDD**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Piedecuesta, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992.

El equipo de medida de energía de calidad, instalados en las subestaciones de ESSA no se encuentra configurado para registrar la distorsión armónica individual de corriente, debido a que la regulación actual no lo solicita.

### 3.2 SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES DE 115 KV

En la Figura 3.6 se muestra el diagrama unifilar de esta subestación, la cual consta de dos barras, una de 115 kV y otra de 34,5 kV, esta información es propiedad de ESSA

Figura 3.6 Diagrama Unifilar S/E Puerto Wilches.



**3.2.1 Obtención De Los Valores Característicos De Los Indicadores De Flicker (Pst) Y Desbalance ( $V_2/V_1$ ) De La Subestación De Puerto Wilches De 115 Kv.** De acuerdo a los datos obtenidos con los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 115 kV, se evalúa cada semana el valor característico de Pst para cada fase. De acuerdo con los datos de la Tabla 2.7, el límite del Pst para un nivel de tensión 4 es 0,9 y teniendo en cuenta los datos de la Tabla 2.2, el límite del indicador de desbalance ( $V_2/V_1$ ) para este caso es 1,5.

Tabla 3.6 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst – V2/V1 en la S/E Puerto Wilches de 115 kV.

Semana	Pst_R ()	Pst_S ()	Pst_T ()	V2/V1 ()
1	0,216	0,224	0,221	0,3529%
2	0,193	0,204	0,214	0,3566%
3	0,230	0,218	0,225	0,3680%
4	0,160	0,167	0,173	0,3051%
Límite	0,9	0,9	0,9	1,5%

Evaluando el indicador **de flicker (Pst)**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 (Ver Figura 3.7).

Evaluando indicador de desbalance (**V2/V1**), durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, el indicador se encuentra **por debajo** del límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.7 Indicador Pst durante las cuatro semanas del mes de noviembre del 2014 para la S/E Puerto Wilches en la barra de 115 kV.

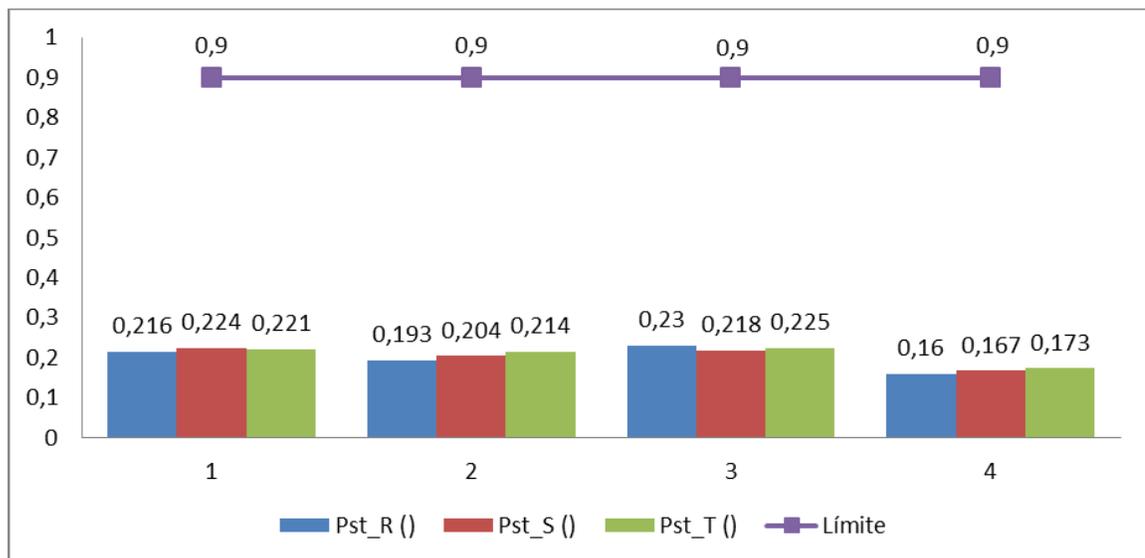
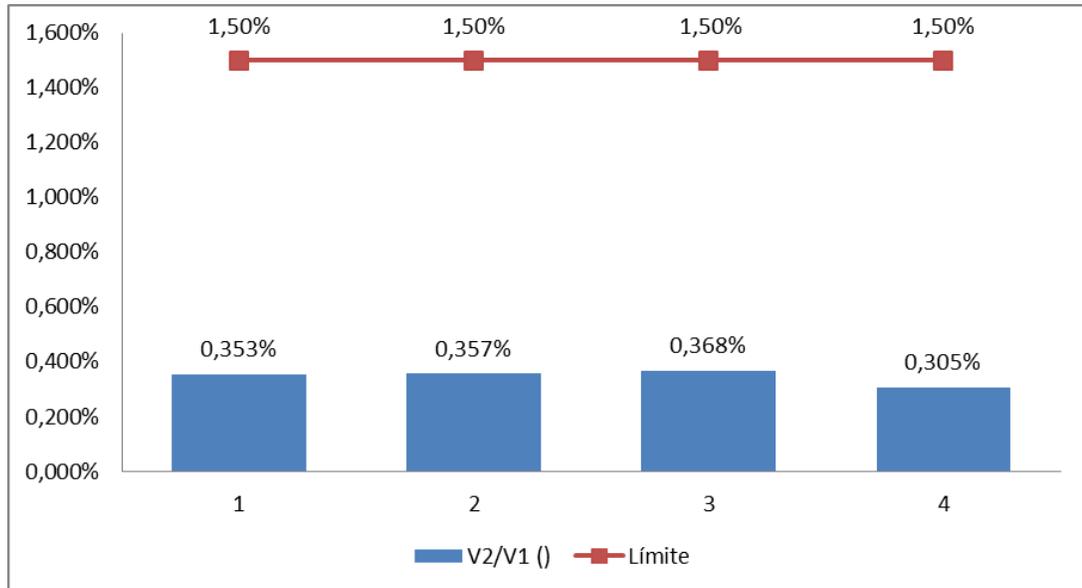


Figura 3.8 Indicador de desbalance V2/V1 durante las cuatro semanas del mes de Noviembre del 2014 S/E Puerto Wilches en la barra de 115 kV.



**3.2.2 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Puerto Wilches de 115 kv.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 115 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 y distorsión armónica individual en cada fase. De acuerdo con la Tabla 2.3, el límite de distorsión armónica total de tensión (THDV) para el nivel 4 de tensión es del 2,5% y la distorsión armónica individual (HDV) es 1,5%. La Tabla 3.2 muestra los valores característicos obtenidos hasta la componente armónica de orden 15.

Tabla 3.7 Valores característicos obtenidos durante el mes de Noviembre de 2014 de los indicadores THDV y HDV de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.

Semana	THDV_R	THDV_S	THDV_T	VR_HD3	VS_HD3	VT_HD3	VR_HD5	VS_HD5	VT_HD5
1	1,57677	1,50814	1,53327	0,10581	0,08414	0,08813	1,49311	1,43252	1,45432
2	1,59673	1,54296	1,56588	0,11957	0,09617	0,11316	1,48883	1,4375	1,47329
3	1,9003	1,8162	1,81531	0,11376	0,09523	0,09245	1,76455	1,68121	1,67805
4	1,70069	1,66215	1,66234	0,10864	0,08693	0,07028	1,62216	1,57254	1,57323
Limite	2,50%	2,50%	2,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%

Semana	VR_HD7	VS_HD7	VT_HD7	VR_HD9	VS_HD9	VT_HD9	VR_HD11	VS_HD11	VT_HD11
1	0,60212	0,62028	0,57786	0,03951	0,02564	0,03455	0,236816	0,226863	0,208414
2	0,62107	0,6364	0,61358	0,0377	0,02738	0,02955	0,224301	0,214782	0,202141
3	0,72721	0,72143	0,69359	0,04302	0,03258	0,02657	0,220087	0,212159	0,205125
4	0,51656	0,57314	0,52601	0,04558	0,03307	0,03098	0,241814	0,235497	0,230123
Limite	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%

Semana	VR_HD13	VS_HD13	VT_HD13	VR_HD15	VS_HD15	VT_HD15
1	0,225541	0,210853	0,297992	0,00963	0,01726	0,011406
2	0,239106	0,186359	0,264016	0,012874	0,019414	0,012861
3	0,221855	0,216554	0,276958	0,012387	0,016332	0,014007
4	0,22001	0,213343	0,264513	0,007468	0,009091	0,014011
Limite	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%

Evaluando el indicador **THDV percentil 95**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.9

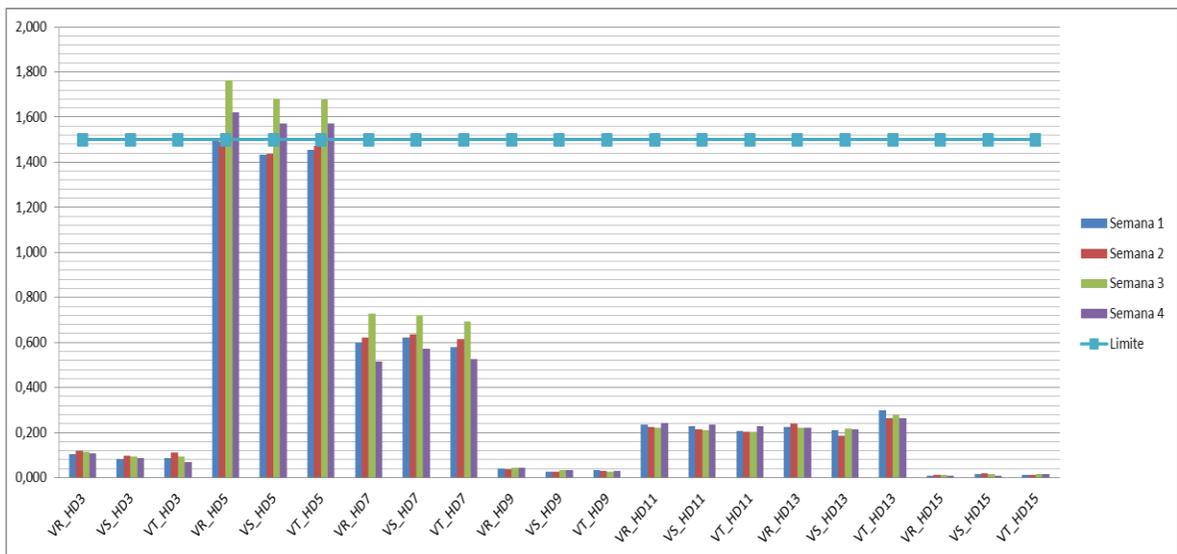
Evaluando indicador de **distorsión armónica individual (HDV) hasta el armónico 15**, durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, en el quinto armónico el indicador se encuentra **por encima** del

límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.10

Figura 3.9 Evaluación del indicador (THDV) en la S/E Puerto Wilches en la barra de 115 kV.



Figura 3.10 Evaluación del indicador HDV en la S/E Puerto Wilches 115 kV.



**3.2.3 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Puerto Wilches de 115 Kv.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 115 kV, se evalúa con la información total del mes de noviembre del 2014, el valor de la relación I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub> en cada fase y con este dato se establece el rango con el que se va a evaluar el indicador de acuerdo con la información de la Tabla 2.5, posteriormente se obtienen los valores característicos de la TDD para cada una de las cuatro semanas evaluadas y se compara con el límite correspondiente anteriormente seleccionado. En la Tabla 3.8 se muestran los valores de la relación I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub> obtenidos para el período de tiempo evaluado (noviembre del 2014).

Tabla 3.8 Cálculo del **I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub>** Para todo el periodo evaluado de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.

<b>INDICADOR</b>	<b>TDD_R_95</b>	<b>TDD_S_95</b>	<b>TDD_T_95</b>
<b>I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub></b>	<b>41,78726304</b>	<b>39,40526779</b>	<b>41,25250875</b>

Con el valor obtenido de la relación I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub>, se obtiene el límite establecido para el nivel de tensión 4 en la evaluación del indicador TDD en la subestación Puerto Wilches de 115 kV que coincide con el obtenido para la subestación de Piedecuesta (ver Tabla 3.4)

De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 115 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 de la distorsión total de la demanda y de la distorsión armónica individual de corriente. La Tabla 3.9 muestra los valores característicos obtenidos para el indicador TDD.

Tabla 3.9 Cálculo del valor TDD por semanas de la S/E Puerto Wilches de 115 kV.

SEMANA	TDD_R_95	TDD_S_95	TDD_T_95
1	0,849897792	0,776625941	0,819104525
2	0,881668139	0,782803178	0,776025111
3	1,098825073	0,95803342	0,980151407
4	0,881838896	0,784069502	0,817037435
Límite	4,0	4,0	4,0

Evaluando el indicador **TDD**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992.

El equipo de medida de energía de calidad, instalados en las subestaciones de ESSA no se encuentra configurado para registrar la distorsión armónica individual de corriente, debido a que la regulación actual no lo solicita.

### 3.3 SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES DE 34,5 KV

Dado que esta subestación tiene dos barras, en este numeral se realiza el análisis de la calidad de la potencia de la barra de 34,5 kV (ver Figura 3.5).

#### 3.3.1 Obtención de los valores característicos de los indicadores de flicker (Pst) y desbalance (V2/V1) de la subestación de Puerto Wilches de 34,5 kV.

De acuerdo a los datos obtenidos con los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV, se evalúa cada semana el valor característico de Pst para cada fase. De acuerdo con los datos de la Tabla 2.8, el límite del Pst para un nivel de tensión 3 es 0,9 y teniendo en cuenta los

datos de la Tabla 2.2, el límite del indicador de desbalance ( $V2/V1$ ) para este caso es 2,0

Tabla 3.10 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores Pst –  $V2/V1$  en la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.

Semana	Pst_R ()	Pst_S ()	Pst_T ()	$V2/V1$ ()
1	0,199	0,195	0,189	0,2623%
2	0,265	0,265	0,230	0,2734%
3	0,330	0,314	0,337	0,2558%
4	0,165	0,161	0,174	0,2829%
Límite	0,9	0,9	0,9	2,0%

Evaluando el indicador **de flicker (Pst)**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 (Ver Figura 3.11).

Evaluando indicador de desbalance ( **$V2/V1$** ), durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, el indicador se encuentra **por debajo** del límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.12

Figura 3.11 Indicador Pst durante las cuatro semanas del mes de noviembre del 2014 para la S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.

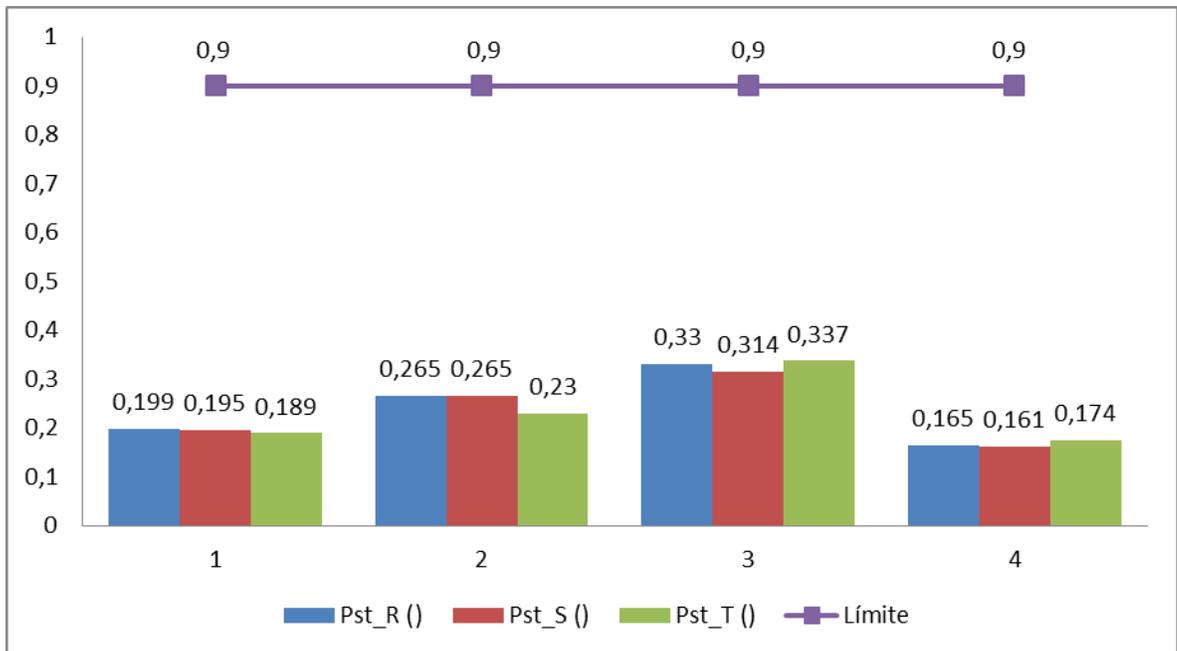
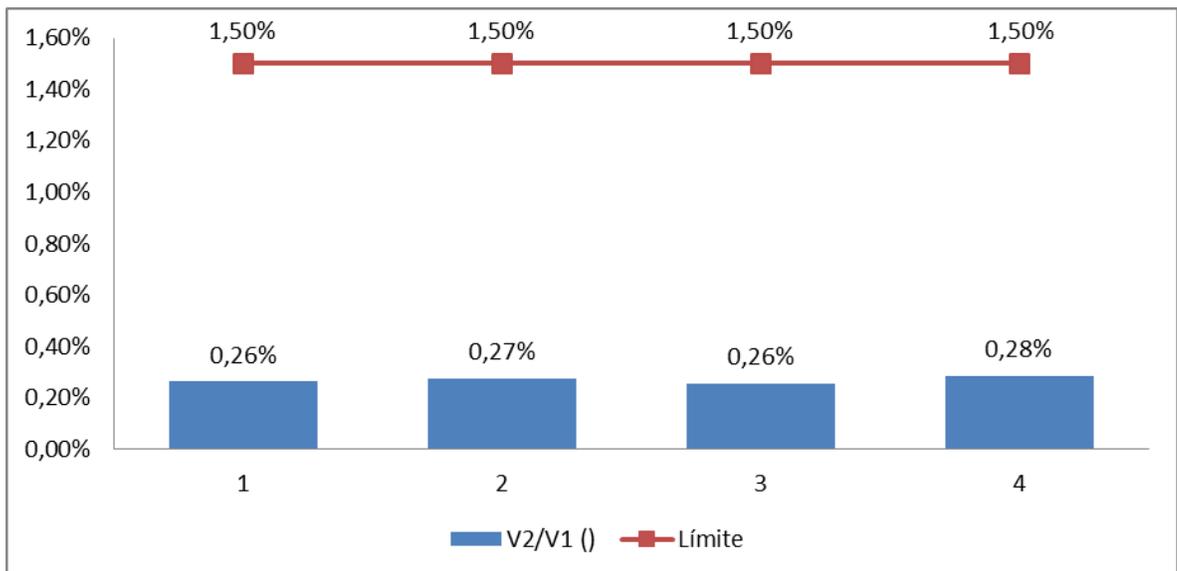


Figura 3.12 Indicador de desbalance V2/V1 durante las cuatro semanas del mes de Noviembre del 2014 para la S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.



**3.3.2 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión armónica total e individual (THDV y HDV) en la subestación Puerto Wilches de 34,5 kV.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 y distorsión armónica individual en cada fase. De acuerdo con la Tabla 2.3, el límite de distorsión armónica total de tensión (THDV) para el nivel 3 de tensión es del 5% y la distorsión armónica individual (HDV) es 3%. La Tabla 3.11 muestra los valores característicos obtenidos hasta la componente armónica de orden 15.

Tabla 3.11 Valores característicos obtenidos durante el mes de noviembre de 2014 de los indicadores THDV y HDV de la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.

Semana	THDV_R	THDV_S	THDV_T	VR_HD3	VS_HD3	VT_HD3	VR_HD5	VS_HD5	VT_HD5
1	1,28212	1,2654	1,26578	0,08249	0,14223	0,11858	1,16294	1,14235	1,14396
2	1,328169	1,334581	1,354482	0,111775	0,175423	0,138575	1,190205	1,191071	1,225204
3	1,483277	1,480810	1,434139	0,110592	0,166770	0,139630	1,336449	1,340560	1,301828
4	1,373260	1,386046	1,362073	0,102166	0,128432	0,078635	1,261176	1,269802	1,249577
Limite	5,00%	5,00%	5,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%

Semana	VR_HD7	VS_HD7	VT_HD7	VR_HD9	VS_HD9	VT_HD9	VR_HD11	VS_HD11	VT_HD11
1	0,50270	0,50905	0,45655	0,03179	0,01826	0,03497	0,219546	0,233459	0,221473
2	0,58418	0,59214	0,54625	0,03564	0,05651	0,05546	0,241477	0,248054	0,244216
3	0,65041	0,64145	0,59318	0,04585	0,02240	0,04425	0,185794	0,199096	0,196606
4	0,461417	0,488278	0,454508	0,043289	0,039043	0,04475	0,205994	0,222464	0,205282
Limite	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%

Semana	VR_HD13	VS_HD13	VT_HD13	VR_HD15	VS_HD15	VT_HD15
1	0,149694	0,141289	0,174114	0,009607	0,010994	0,015055
2	0,204670	0,169245	0,234037	0,025308	0,019278	0,044765
3	0,167580	0,153670	0,177150	0,018080	0,022512	0,014040
4	0,201801	0,165532	0,188595	0,017755	0,022414	0,014720
Limite	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%

Evaluando el indicador **THDV percentil 95**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador *por debajo* del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.13

Evaluando indicador de **distorsión armónica individual (HDV) hasta el armónico 15**, durante un periodo de 4 semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, en el quinto armónico el indicador se encuentra *por debajo* del límite establecido en el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992 tal como se observa en la Figura 3.14

Figura 3.13 Evaluación del indicador (THDV) en la S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.

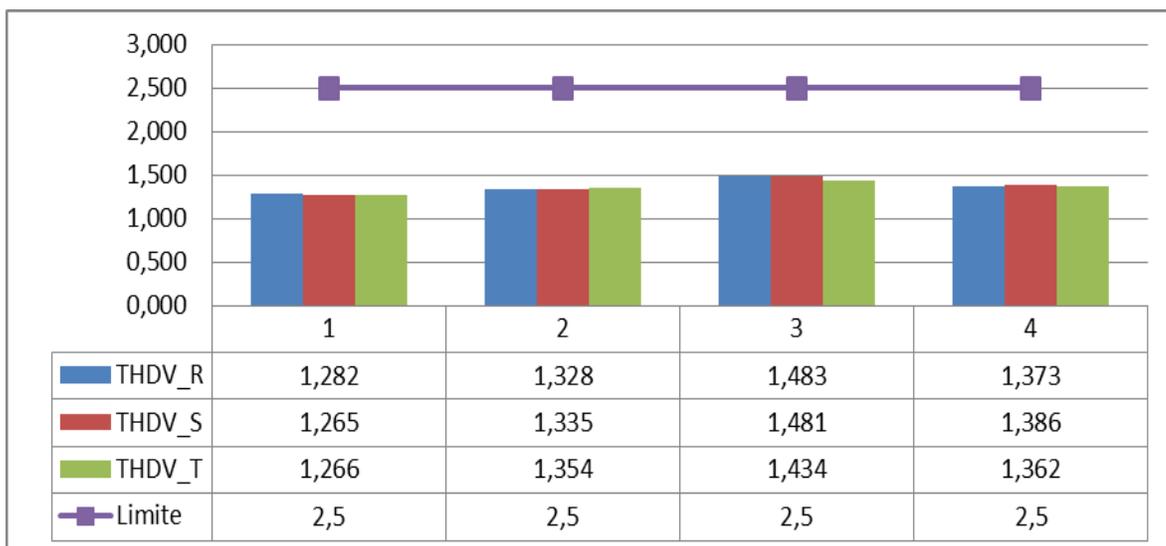
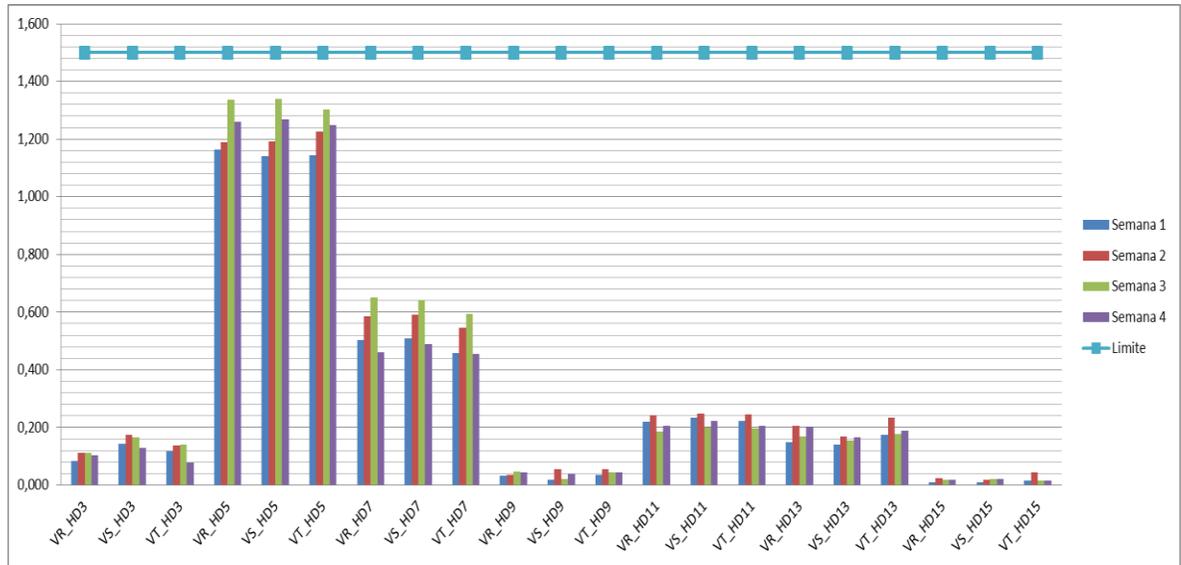


Figura 3.13 Evaluación del indicador HDV en la S/E Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV.



**3.3.3 Obtención de los valores característicos de los indicadores de distorsión total de la demanda (TDD) de la subestación Puerto Wilches de 34,5 kV.** De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV, se evalúa con la información total del mes de noviembre del 2014, el valor de la relación  $I_{sc}/I_L$  en cada fase y con este dato se establece el rango con el que se va a evaluar el indicador de acuerdo con la información de la Tabla 2.5, posteriormente se obtienen los valores característicos de la TDD para cada una de las cuatro semanas evaluadas y se compara con el límite correspondiente anteriormente seleccionado. En la Tabla 3.12 se muestran los valores de la relación  $I_{sc}/I_L$  obtenidos para el período de tiempo evaluado (noviembre del 2014).

Tabla 3.12 Cálculo del **Isc/IL** Para todo el periodo evaluado HD de la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.

INDICADOR	TDD_R_95	TDD_S_95	TDD_T_95
<b>Isc/IL</b>	<b>14.90809663</b>	<b>14.14480095</b>	<b>14.78005291</b>

Con el valor obtenido de la relación **Isc/IL**, se obtiene el límite establecido para el nivel de tensión 3 en la evaluación del indicador TDD en la subestación Puerto Wilches 34,5 kV como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Límites de distorsión armónica individual y del indicador TDD para el nivel de tensión 1, 2 y 3.

Límites de distorsión armónica individual y TDD para el Nivel de Tensión 1,2 y 3						
Relación Isc/IL	Distorsión armónica individual					TDD_95
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 17	
Isc/IL < 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0 %
20 ≤ Isc/IL < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0 %
50 ≤ Isc/IL < 100	10	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0 %
100 ≤ Isc/IL < 1000	12	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0 %
Isc/IL ≥ 1000	15	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0 %

De acuerdo a los datos obtenidos de los equipos de medida instalados en la subestación Puerto Wilches en la barra de 34,5 kV, se calcula por cada semana los valores para el percentil 95 de la distorsión total de la demanda y de la distorsión armónica individual de corriente. La Tabla 3.14 muestra los valores característicos obtenidos para el indicador TDD.

Tabla 3.14 Cálculo del valor TDD por semanas de la S/E Puerto Wilches de 34,5 kV.

SEMANA	TDD_R_95	TDD_S_95	TDD_T_95
1	0,907984125	0,793932788	0,892583249
2	0,935961843	0,815393323	0,833021302
3	1,159935189	0,968409165	1,036737604
4	0,93702788	0,796798059	0,876863034
Límite	5,0	5,0	5,0

Evaluando el indicador **TDD**, en las fases R, S y T, durante un periodo de cuatro semanas se observa que en la subestación Puerto Wilches, se encuentra el indicador **por debajo** del límite establecido por el proyecto de resolución CREG 065 del 2012 y la recomendación IEEE 519 de 1992

El equipo de medida de energía de calidad, instalados en las subestaciones de ESSA no se encuentra configurado para registrar la distorsión armónica individual de corriente, debido a que la regulación actual no lo solicita.

## 4. ANÁLISIS DE EVENTOS TRANSITORIOS

Como complemento del análisis de los parámetros de Calidad de la Potencia en las Subestaciones Piedecuesta 115 kV y Puerto Wilches 115 y 34,5 kV, se realiza análisis de los transitorios generados en el periodo de análisis.

Para el análisis de los eventos transitorios, se extrae la información en el periodo establecido correspondiente a las semanas entre el 1 y el 28 de noviembre de 2014 mediante los medidores ION 7650 y ACCESS 9610 ([12], [13]) instalados en las barras principales de las subestaciones Piedecuesta 115 kV y Puerto Wilches 115 kV y 34,5 kV.

### 4.1 ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PIEDECUESTA 115 KV

En la tabla 4.1 se evidencian los datos de transitorios Sag suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia para la subestación Piedecuesta en el nivel de tensión 115 kV y el cálculo de la caída de tensión de donde se sacan los porcentajes de severidad de la fluctuación.

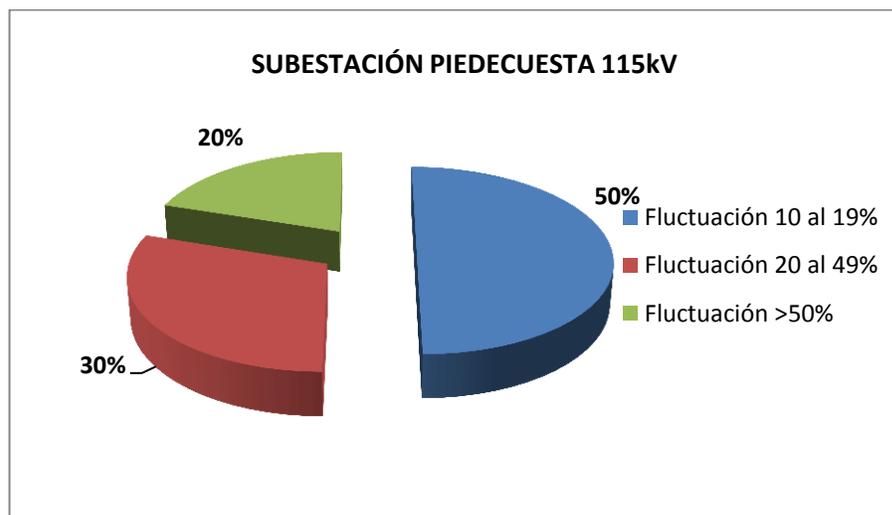
Tabla 4.1 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Piedecuesta 115 kV.

TimeStamp	Type	Phase	Duration (s)	Magnitudo (%Nominal)	caída de tensión	10 al 19%	20 al 49%	>50%
<a href="#">2014-nov-01 10:56:39.811</a>	Sag	V1	0.115999997	81.2228241	53928.12148	X		
<a href="#">2014-nov-02 17:27:56.688</a>	Sag	V2	0.533999979	81.4464798	54076.61831	X		
<a href="#">2014-nov-05 06:16:59.606</a>	Sag *Exceeds	V2	0.082000002	46.43019104	30827.45535			X
<a href="#">2014-nov-09 09:24:09.564</a>	Sag	V2	0.592999995	85.07584381	56486.34471	X		
<a href="#">2014-nov-13 05:06:34.743</a>	Sag	V1	0.067000002	77.92232513	51736.74596		X	
<a href="#">2014-nov-14 04:18:20.059</a>	Sag	V1	0.057	80.97663116	53764.661	X		
<a href="#">2014-nov-17 05:18:25.088</a>	Sag	V2	0.077	79.60177612	52851.82214		X	
<a href="#">2014-nov-20 11:58:05.088</a>	Sag *Exceeds	V1	0.085000001	61.28710938	40691.74787		X	
<a href="#">2014-nov-26 00:59:13.458</a>	Sag	V2	0.340999991	77.40552521	51393.6152			X
<a href="#">2014-nov-28 02:09:56.604</a>	Sag	V3	0.232999995	88.07395172	58476.94685	X		
TOTAL 10						5	3	2

Una vez analizados los datos suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia, se evidencia que las fluctuaciones de tensión caracterizadas por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda Estándar o Sag en el periodo analizado fue un total de diez, de ellas cinco estuvieron entre el 10 y el 19% representando un 50% de las fluctuaciones Sag, tres presentaron un porcentaje entre el 20 y 39% representando un 30% de las fluctuaciones Sag y dos mayores al 50% representando un 20% de las fluctuaciones Sag.

En la figura 4.2 se observa el porcentaje de fluctuaciones Sag en la subestación Piedecuesta en el nivel de tensión 115 kV según el grado de severidad de los mismos.

Figura 4.2 Promedio de fluctuaciones Sag de acuerdo a su depresión de tensión en la S/E Piedecuesta



#### 4.2 ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES 115 KV

En la tabla 4.3 se evidencian los datos de transitorios Sag suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia para la subestación Puerto Wilches en

el nivel de tensión 115 kV y el cálculo de la caída de tensión de donde se toman los porcentajes de severidad de la fluctuación.

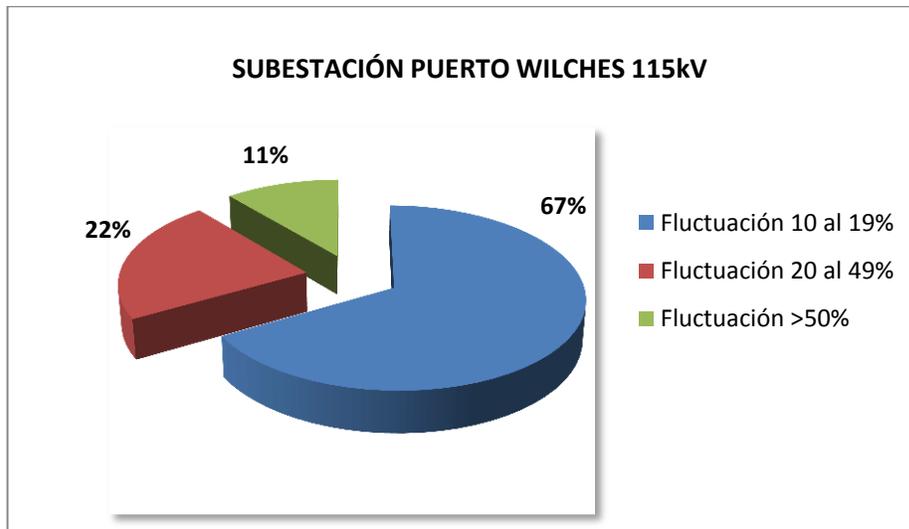
Tabla 4.3 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Puerto Wilches 115 kV

						10 al 19%	20 al 49%	>50%	
						66395.28	59755.752	53116.224	33197.64
TimeStamp	Type	Phase	Duration (s)	Magnitude (%Nominal)	caída de tensión				
2014-nov-05 06:16:58.738	Sag *Exceeds Tolerance	V2	0.068000004	58.02314758	38524.6313		X		
2014-nov-06 06:05:07.339	Sag	V2	0.157000005	87.88079834	58348.70212	X			
2014-nov-13 05:06:35.179	Sag	V1	0.059	70.88363647	47063.38891		X		
2014-nov-14 04:54:02.544	Sag	V1	0.100000001	84.57590485	56154.40884	X			
2014-nov-17 05:18:25.046	Sag	V2	0.075999998	83.98387146	55761.32661	X			
2014-nov-20 11:58:04.751	Sag	V1	0.057999998	82.49744415	54774.40904	X			
2014-nov-21 11:56:35.768	Sag *Outside Graph Range	V1	3553.915039	0	0			X	
2014-nov-21 21:56:35.668	Sag	V1	0.416999996	86.43206024	57386.80841	X			
2014-nov-26 00:59:13.513	Sag	V2	0.056000002	89.90090942	59689.96053	X			
TOTAL 9							6	2	1

Una vez analizados los datos suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia, se evidencia que las fluctuaciones de tensión caracterizadas por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda Estándar o Sag, en el periodo analizado fue un total de nueve, de ellas seis estuvieron entre el 10 y el 19% representando el 50% de las fluctuaciones Sag, dos presentaron un porcentaje entre el 20 y 39% representando un 22% de las fluctuaciones Sag y una mayor al 50% representando un 11% de las fluctuaciones Sag. La fluctuación mayor al 50% presentada el 21 de noviembre, se destaca por duración y magnitud la cual salió de los límites hasta volverse un evento en el sistema.

En la figura 4.4 se observa el porcentaje de fluctuaciones Sag en la subestación Puerto Wilches en el nivel de tensión 115 kV según el grado de severidad de los mismos.

Figura 4.4 Promedio de fluctuaciones Sag de acuerdo a su depresión de tensión en la S/E Puerto Wilches



### 4.3 ANÁLISIS DE LOS TRANSITORIOS EN LA SUBESTACIÓN PUERTO WILCHES 34.5 KV

En la tabla 4.5 se evidencian los datos de transitorios Sag suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia para la subestación Puerto Wilches en el nivel de tensión 34,5 kV y el cálculo de la caída de tensión de donde se toman los porcentajes de severidad de la fluctuación.

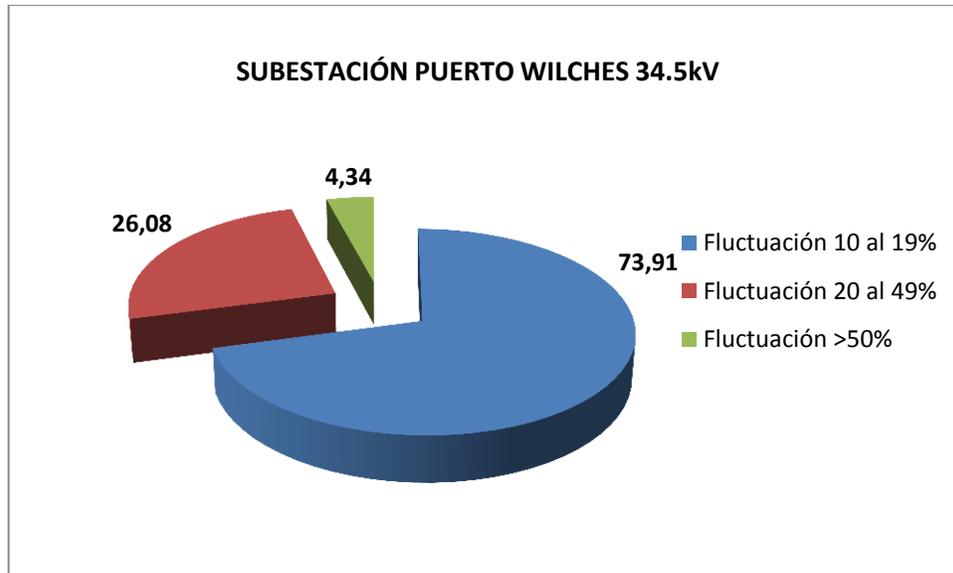
Tabla 4.5 Datos de fluctuaciones Sag y cálculo de la caída de tensión en la subestación Puerto Wilches 34,5 kV

						10 al 19%	20 al 49%	>50%	
						19919	17927.1	15935.2	9959.5
TimeStamp	Type	Phase	Duration (s)	Magnitude (%Nominal)	caída de tensión				
2014-nov-01 05:50:01.000	Sag	V3	0.048	83.95386505	16722.77038			X	
2014-nov-01 06:03:31.362	Sag *Exceeds Tolerance	V3	0.233999997	42.95451355	8556.109554				
2014-nov-01 06:03:31.362	Sag *Exceeds Tolerance	V3	0.560000002	78.22102356	15580.84568		X		
2014-nov-01 10:56:40.452	Sag	V1	0.098999999	88.40045166	17608.48597				
2014-nov-01 16:53:07.109	Sag	V3	0.048	89.08086395	17744.01729				
2014-nov-01 16:53:41.659	Sag	V2	0.064999998	89.80091095	17887.44345				
2014-nov-01 17:01:17.269	Sag	V1	0.048999999	89.55278778	17838.0198				
2014-nov-01 17:02:01.757	Sag	V2	0.266999999	89.78089905	17883.45728				
2014-nov-02 08:04:12.296	Sag	V1	0.066	71.2763443	14197.53502		X		
2014-nov-02 17:27:56.435	Sag	V2	0.342999995	89.76286316	17879.86471				
2014-nov-05 06:16:59.379	Sag *Exceeds Tolerance	V2	0.108999997	57.85043716	11523.22858		X		
2014-nov-05 07:18:02.596	Sag	V2	0.075000003	71.54938507	14251.92201		X		
2014-nov-05 07:19:37.803	Sag	V1	0.090000004	84.60115814	16851.70469				
2014-nov-06 03:06:08.524	Sag	V2	0.026000001	89.75910187	17879.1155				
2014-nov-06 06:05:07.732	Sag *Exceeds Tolerance	V3	0.384999999	35.27338409	7026.105378			X	
2014-nov-06 10:23:49.298	Sag	V2	0.067000002	89.55254364	17837.97117				
2014-nov-06 10:24:19.112	Sag	V1	0.097999997	88.44438171	17617.23639				
2014-nov-07 23:59:24.694	Sag *Exceeds Tolerance	V2	0.108999997	51.65517807	10289.19492		X		
2014-nov-08 12:07:22.351	Sag	V2	0.116999999	87.18753815	17366.88572				
2014-nov-11 15:52:31.901	Sag	V2	0.023	89.86116028	17899.44452				
2014-nov-11 17:29:43.946	Sag	V2	0.033	84.3777771	16807.20942				
2014-nov-11 17:48:07.337	Sag	V3	0.066	89.62454224	17852.31257				
2014-nov-11 18:14:10.742	Sag	V2	0.039999999	89.8507309	17897.36709				
2014-nov-13 05:06:34.782	Sag	V1	0.082999997	72.80776215	14502.57814		X		
2014-nov-13 21:31:15.560	Sag	V2	0.917999983	86.31066132	17192.22063				
2014-nov-14 01:34:32.853	Sag	V1	0.066	84.30614471	16792.94097				
2014-nov-14 04:18:20.124	Sag	V1	0.064999998	85.2802124	16986.96551				
2014-nov-14 04:54:02.115	Sag	V1	0.118000001	80.93867493	16122.17466				
2014-nov-14 18:37:59.230	Sag	V2	0.075000003	89.55925751	17839.3085				
2014-nov-16 10:13:45.033	Sag *Exceeds Tolerance	V3	0.101000004	57.84366226	11521.87909		X		
2014-nov-17 05:18:24.606	Sag	V2	0.075000003	82.89387512	16511.63099				
2014-nov-18 06:34:16.043	Sag	V2	0.082000002	89.30677032	17789.01558				
2014-nov-18 11 29 49.446	Sag *Exceeds Tolerance	V1	0.057999998	68.5765152	13659.75606		X		
2014-nov-18 20:44:32.338	Sag	V3	0.034000002	89.91436005	17910.04138				
2014-nov-19 20:54:05.742	Sag	V2	0.048999999	86.28590393	17187.2892				
2014-nov-20 11:58:05.375	Sag	V1	0.075000003	82.90419769	16513.68714				
2014-nov-21 07:31:36.096	Sag	V3	0.024	76.39739227	15217.59657		X		
2014-nov-21 21:56:00.223	Sag *Outside Graph Range	V1	3717.655029	0	0		X		
2014-nov-21 23:05:42.848	Sag	V3	0.033	88.51026917	17630.36051				
2014-nov-21 23:06:24.282	Sag	V1	0.050000001	89.20848083	17769.4373				
2014-nov-21 23:06:27.231	Sag *Exceeds Tolerance	V2	0.565999985	17.22147942	3430.346485			X	
2014-nov-22 00:26:33.452	Sag	V1	0.041000001	89.9622879	17919.58813				
2014-nov-24 22:59:16.346	Sag *Exceeds Tolerance	V3	0.090999998	61.69985199	12289.99352		X		
2014-nov-26 00:59:14.097	Sag	V2	0.266000003	88.38172913	17604.75662				
2014-nov-26 04:25:35.806	Sag	V1	0.007	89.71375275	17870.08241				
2014-nov-31 04:06:07.752	Sag	V2	0.048	87.37840271	17404.90404				
					TOTAL 46		34	12	2

Una vez analizados los datos suministrados por el equipo de medida de calidad de la potencia, se evidencia que las fluctuaciones de tensión caracterizadas por producir una depresión transitoria de tensión respecto de la onda Estándar o Sag, en el periodo analizado fue un total de cuarenta y seis, de ellas treinta y cuatro estuvieron entre el 10 y el 19% representando el 73.91% de las fluctuaciones Sag, doce presentaron un porcentaje entre el 20 y 39% representando un 26.08% de las fluctuaciones Sag y dos mayor al 50% representando un 4.34% de las fluctuaciones Sag. De las dos fluctuaciones mayores al 50%, la presentada el 21 de noviembre, se destaca por duración y magnitud la cual salió de los límites hasta volverse un evento en el sistema.

En la figura 4.6 se observa el porcentaje de fluctuaciones Sag en la subestación Puerto Wilches en el nivel de tensión 34,5 kV según el grado de severidad de los mismos.

Figura 4.6 Promedio de fluctuaciones Sag de la subestación Puerto Wilches en el nivel de tensión 34,5 kV de acuerdo a su depresión de tensión



## 5. CONCLUSIONES

Una vez realizada la evaluación de la calidad de la potencia de las subestaciones de Piedecuesta y Puerto Wilches durante un mes del año 2014, se encuentra que la mayoría de los valores estimados de los indicadores propuestos por la regulación colombiana están por debajo de los límites establecidos como adecuados. Solamente el valor estimado del indicador de distorsión armónica individual del quinto armónico en las subestaciones de Piedecuesta y Puerto Wilches (en la barra de 115 kV) es mayor al límite establecido por la reglamentación de la CREG.

Como conclusiones de esta monografía se resaltan las siguientes:

1. Luego de recolectar la información arrojada por el equipo de medida, ordenarla y analizarla se evidencia que para las Subestaciones Piedecuesta y Puerto Wilches el índice de Distorsión Armónica Individual de Tensión de la quinta componente armónica, medido en el barraje de 115 [kV] se encuentra por encima de los límites estandarizados en los índices de referencia.
2. El estado de calidad de onda de potencia suministrada por nivel 3 en la subestación de Puerto Wilches (barra de 34,5kV), cumple con los límites de los indicadores establecidos por los estándares internacionales de referencia.
3. Dados los resultados analizados, la componente armónica de tensión más representativa es la quinta, la cual tiene impacto en la calidad de onda de potencia en las barras de 115 [kV] de las dos subestaciones analizadas.
4. Aunque las fluctuaciones con depresión transitoria mayores al 50% de la tensión no representan un porcentaje significativo, pueden generar un evento

en el sistema, por lo que se debe realizar un análisis profundo que permita determinar el origen de la fluctuación Sag .

5. Se recomienda implementar un estudio especializado para que se analicen las causas predominantes en el aumento de la magnitud de los indicadores de la calidad de la potencia en estas dos subestaciones, el cual, también incluya un estudio de los ciclos de trabajo de las cargas más representativas, evaluación del porcentaje de carga de los transformadores de distribución aportando herramientas para así implementar un proyecto que permita ajustar los valores de los indicadores de calidad de la potencia por debajo de los límites establecidos por la reglamentación y según las referencias internacionales de la calidad del servicio y la calidad de la potencia eléctrica.
6. Se recomienda también realizar un estudio de las consecuencias que trae para el sistema el ingreso de la planta de generación de Hidrosogamoso.
7. Para un mejor análisis de la calidad de la potencia eléctrica, se recomienda configurar los equipos de medida de energía y calidad de potencia de las subestaciones de ESSA para que entreguen la información relacionada con los indicadores de distorsión armónica individual de las señales de corriente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Estándares IEEE 519 de 1992, Recomendaciones prácticas y requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.

[2] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 024 de 2005, Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica.

[3] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 016 de 2007, Por la cual se modifica parcialmente la Resolución CREG 024 de 2005 que establece las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a la Distribución de Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional.

[4] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 065 de 2012, Proyecto de resolución de carácter general que pretende establecer las normas de calidad de potencia eléctrica aplicables al Sistema Interconectado Nacional.

[5] Diagnóstico de la calidad de la potencia en la actividad de distribución de energía eléctrica, Universidad tecnológica de Pereira.

[6] El plan de negocios 2013 – 2027 de ESSA.

[7] Ley 142 de 1994, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

[8] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 070 de 1998, Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del sistema Interconectado Nacional.

[9] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 096 de 2000, Por la cual se dictan normas en materia de calidad del servicio de energía eléctrica prestado en el Sistema Interconectado Nacional, relacionadas con las disposiciones de la Resolución CREG 159 de 2001 y con el primer año del período siguiente a la transición, de que trata el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica.

[10] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 097 de 2008, Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.

[11] Norma IEC 61000-4-30, Testing and measurement techniques: Power Quality measurement methods.

[12] [http://www.powerlogic.com/literature/7550-7650\\_User\\_Guide\\_70002-0248-07.pdf&ved=0CB0QFjAC&usg=AFQJCN0tmQ5Z0fBzSc9xvCbBQYtPLRNPNQ&sig2=zcC5MdOs4yF8G1UNFknyhQ](http://www.powerlogic.com/literature/7550-7650_User_Guide_70002-0248-07.pdf&ved=0CB0QFjAC&usg=AFQJCN0tmQ5Z0fBzSc9xvCbBQYtPLRNPNQ&sig2=zcC5MdOs4yF8G1UNFknyhQ). Contiene el manual del usuario del equipo ION 7650. Visitado el 08/12/2014.

[13][http://www.siemens.com%2Fdownload%3FBTLV\\_38454&ei=s5oqVaudKMHjsASb0YGwDw&usg=AFQjCNGP\\_As5XzyRjW\\_zQWfZu4glknRevg&bvm=bv.90491159,d.cWc](http://www.siemens.com%2Fdownload%3FBTLV_38454&ei=s5oqVaudKMHjsASb0YGwDw&usg=AFQjCNGP_As5XzyRjW_zQWfZu4glknRevg&bvm=bv.90491159,d.cWc). Contiene el manual del usuario del equipo ACCES 9610. Visitado el 08/12/2014.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 097 de 2008, Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 024 de 2005, Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica.

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 065 de 2012, Proyecto de resolución de carácter general que pretende establecer las normas de calidad de potencia eléctrica aplicables al Sistema Interconectado Nacional.

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 016 de 2007, Por la cual se modifica parcialmente la Resolución CREG 024 de 2005 que establece las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a la Distribución de Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional.

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 070 de 1998, Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del sistema Interconectado Nacional.

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución CREG 096 de 2000, Por la cual se dictan normas en materia de calidad del servicio de energía eléctrica prestado en el Sistema Interconectado Nacional, relacionadas con las disposiciones de la Resolución CREG 159 de 2001 y con el primer año del período siguiente a la transición, de que trata el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica.

Diagnóstico de la calidad de la potencia en la actividad de distribución de energía eléctrica, Universidad tecnológica de Pereira.

El plan de negocios 2013 – 2027 de ESSA.

Estándares IEEE 519 de 1992, Recomendaciones prácticas y requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.

Ley 142 de 1994, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Norma IEC 61000-4-30, Testing and measurement techniques: Power Quality measurement methods.

Powerlogic. Manual del usuario del equipo ION 7650. Disponible en: [http://www.powerlogic.com/literature/7550-7650\\_User\\_Guide\\_70002-0248-07.pdf&ved=0CB0QFjAC&usg=AFQJCNCG0tmQ5Z0fBzSc9xvCbBQYtPLRNPQ&sig2=zcC5MdOs4yF8G1UNFknyhQ](http://www.powerlogic.com/literature/7550-7650_User_Guide_70002-0248-07.pdf&ved=0CB0QFjAC&usg=AFQJCNCG0tmQ5Z0fBzSc9xvCbBQYtPLRNPQ&sig2=zcC5MdOs4yF8G1UNFknyhQ). Visitado el 08/12/2014.

Siemens. Manual del usuario del equipo ACCES 9640. Disponible en: [http://www.siemens.com/download%3FBTLV\\_38454&ei=s5oqVaudKMHjsASb0YGwDw&usg=AFQjCNGP\\_As5XzyRjW\\_zQWfZu4glknRevg&bvm=bv.90491159,d.cWc](http://www.siemens.com/download%3FBTLV_38454&ei=s5oqVaudKMHjsASb0YGwDw&usg=AFQjCNGP_As5XzyRjW_zQWfZu4glknRevg&bvm=bv.90491159,d.cWc). Visitado el 08/12/2014.