

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

EVALUACION DE ARMONICOS Y FRECUENCIA PARA EL SUMINISTRO DEL BANCO DE CONDENSADORES DE LA SUBESTACIÓN DOLORESPATA 10,6 kV

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 OBJETIVO
- 1.2 ANTECEDENTES
- 1.3 ALCANCES
- 1.4 NORMAS APLICABLES
- 1.5 CONFIGURACION DEL SISTEMA ELECTRICO

2. ANALISIS DE ARMONICOS

- 2.1 CONTROL DE CALIDAD SEGÚN LA NTCSE
 - 2.1.1 Límites y Rangos según la NTCSE
 - 2.1.2 Análisis y Evaluación de Mediciones de armónicas de tensión
- 2.2 CONTROL DE CALIDAD SEGÚN EL IEEE 519
 - 2.2.1 Límites y Rangos Permitidos
 - 2.2.1.1 Límites de Tensión Armónica
 - 2.2.1.2 Límites de Corrientes Armónicas
 - 2.2.2 Análisis y Evaluación de Mediciones de armónicas de tensión
- 2.3 ESPECTRO DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN

3. ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA

- 3.1 FRECUENCIA DE RESONANCIA OBTENIDA PARA EL NUEVO BANCO DE CONDENSADORES
- 3.2 FRECUENCIA DE RESONANCIA OBTENIDA CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DEL BANCO DE CONDENSADORES EXISTENTE

4. COMPARACIÓN BANCO DE CONDENSADORES OFERTADOS – BANCO DE CONDENSADORES SUGERIDO

- 4.1 BANCO DE CONDENSADORES OFERTADO
- 4.2 BANCO DE CONDENSADORES SUGERIDO
- 4.3 DATOS TÉCNICOS DE BANCO DE CONDENSADORES

5. CONCLUSIONES

6. RECOMENDACIONES

7. ANEXO DE BARRIDO DE FRECUENCIA

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

EVALUACION DE ARMONICOS Y FRECUENCIA PARA EL SUMINISTRO DEL BANCO DE CONDENSADORES DE LA SUBESTACIÓN DOLORESPATA 10.6 Kv

1. **INTRODUCCIÓN**

1.1 **OBJETIVO**

El objetivo del presente informe técnico es presentar los resultados del análisis de armónicos en la Barra en 10,6kV de la SE Dolorespata y de la verificación de resonancia con la inclusión del nuevo Banco de Condensadores de 3 x 3,75 MVAR y los armónicos presentes en la red, considerando las mediciones efectuadas por EGEMSA en diciembre 2012 y julio 2013.

1.2 **ANTECEDENTES**

- De acuerdo al Plan de Inversiones en Transmisión del OSINERGMIN 2013-2017, EGEMSA debe adquirir e instalar un Banco de Capacitores de 3 x 3,75 MVAR en la barra en 10,6 kV de la SE Dolorespata.
- EGEMSA convocó al proceso de selección en la modalidad de Licitación Pública No. 003-2013-EGEMSA para seleccionar a la empresa que ofrezca las mejores condiciones técnicas y económicas para la “Adquisición de Banco Capacitivo y Celda Subestación Dolorespata”. Con fecha 13/09/2013, EGEMSA y ABB S.A. suscribieron el Contrato No. 29-2013 cuyo objeto es el suministro, montaje, pruebas y puesta en servicio de un banco de capacitores de 3 x 3,75 MVAR con reactores de choque, celdas de llegada, celda de compensación, tablero de control, mando y protecciones equipado, e integración al sistema SCADA existente.
- El presente informe se basa en las mediciones de armónicos proporcionadas por EGEMSA, las mismas que fueron realizadas en Diciembre del 2012 durante un periodo de 1 semana.
- La mediciones de armónicas realizadas por EGEMSA en el mes de Julio del 2013 durante el periodo de 1 semana, se ha procesado y en el numeral 5 se presentan las conclusiones del análisis de estas medidas.

1.3 **ALCANCES**

Los alcances del presente informe técnico son los siguientes

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

- Analizar las mediciones de armónicas entregadas por EGEMSA, realizada en la barra 10,6kV de la SE Dolorespata en diciembre de 2012 y julio 2013; según los márgenes permitidos por la Norma Técnica de Calidad de Energía –NTCSE del Perú y el estándar Internacional IEEE 519.
- Determinar la existencia o no del riesgo de resonancia por la presencia de armónicos de tensión presentes en la red.

1.4 NORMAS APLICABLES

Los siguientes criterios y normas técnicas han sido utilizados:

- Norma Técnica de Calidad de Los Servicios Eléctricos (NTCSE).
- Bases Metodológicas de la NTCSE.
- IEEE 519 “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System” – “Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia”.
- IEEE 1159 “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Power Systems.
- IEEE 1531 -2003 “Guide for Application and Specification of Harmonic Filters”.
- IEEE 18-2002 “Standard for Shunt Power Capacitor”

1.5 CONFIGURACION DEL SISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico a analizar se presenta en la siguiente figura de forma resumida:

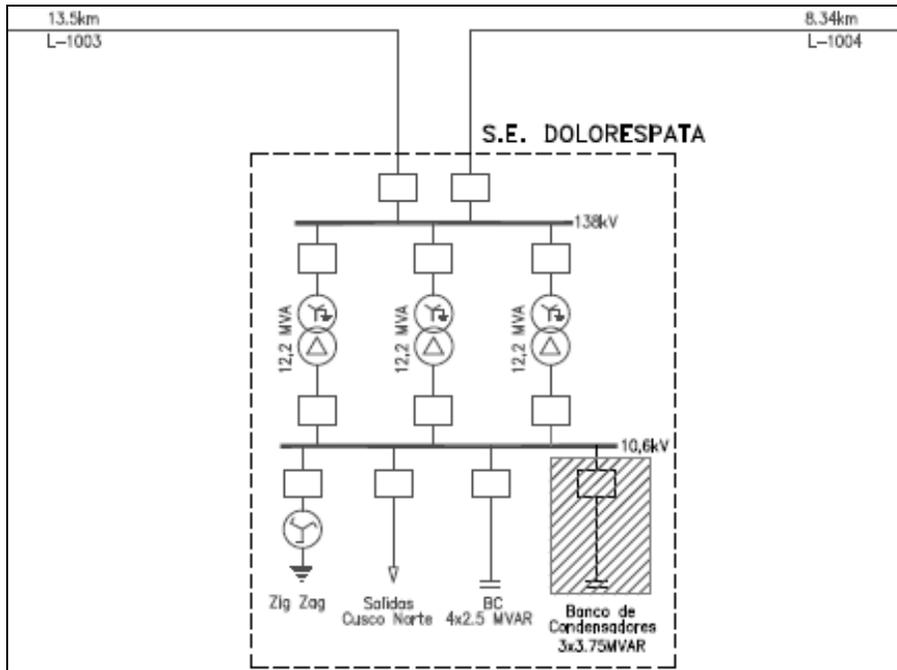


Figura N° 1 Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico

2. ANÁLISIS DE ARMONICOS

2.1 CONTROL DE CALIDAD SEGÚN LA NTCSE

2.1.1 Límites y Rangos según la NTCSE

El control de la calidad de los servicios eléctricos aplicable para la evaluación de armónicos del sistema eléctrico Dolorespata se realiza en los siguientes aspectos:

El presente estudio, comprende evaluar la calidad de producto en el nivel de 10,6 kV del sistema eléctrico Dolorespata.

Los armónicos son tensiones y corrientes con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60Hz) los cuales son generados por las cargas no-lineales.

La forma de evaluar una tensión o una corriente distorsionada es a través del parámetro denominado distorsión armónica total THD (Total Harmonic Distorsion).

Según la NTCSE la fórmula de THD es la siguiente:

$$THD(\%) = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2...40} V_i^2}}{V_N} \right) * 100\% \dots\dots\dots \text{Fórmula 3.1}$$

Donde:

V_N : Tensión Nominal

V_2, V_3, \dots, V_{40} : Armónica de tensión del orden 2 al 40

* El THD se interpreta como: Que proporción de la señal de 60Hz representa la señal distorsionada.

Según la NTCSE para tensiones menores o iguales a 60 kV el sistema debe cumplir un límite máximo de distorsión de tensión THD de 8%, los límites de tensiones armónicas individuales están dados en la Tabla N° 5 de dicha Norma y se resumen a continuación:

Tabla 1. Límites de distorsión individual de tensión

Tensiones menores o iguales a 60 kV							
Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%
2	2.0	12	0.2	22	0.2	32	0.2
3	5.0	13	3.0	23	1.5	33	0.2
4	1.0	14	0.2	24	0.2	34	0.2
5	6.0	15	0.3	25	1.5	35	0.557
6	0.5	16	0.2	26	0.2	36	0.2
7	5.0	17	2.0	27	0.2	37	0.538
8	0.5	18	0.2	28	0.2	38	0.2
9	1.5	19	1.5	29	0.631	39	0.2
10	0.5	20	0.2	30	0.2	40	0.2
11	3.5	21	0.2	31	0.603		
Límite máximo de THD de tensión = 8 %							

Los límites establecidos en el Tabla N°1 serán utilizados en el presente estudio dado que el punto eléctrico analizado está en el nivel de 10,6 kV.

2.1.2 Análisis y Evaluación de Mediciones de armónicas de tensión

Las armónicas de tensión tienen que ser representadas en porcentaje respecto a la tensión nominal la cual es 10,6kV.

En la tabla siguiente muestra el resultado obtenido de las mediciones de las armónicas de tensión desde el orden 2 hasta el 40.

Tabla 2. Evaluación de mediciones de armónicas de tensión por NTCSE

EVALUACION DE MEDICIONES DE TENSIONES ARMONICAS	
SUBESTACION	DOLORESPATA
TENSION NOMINAL [V]	10.6
ESTADO DE LA MEDICIÓN	VALIDA
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008

No DE INTERVALOS EN FALTA	0
% DE INTERVALOS EN FALTA	0.0%
FECHA DE INICIO	12/24/2012 11:30
FECHA DE RETIRO	12/31/2012 12:00

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0.00%	Ok
3	0	0.00%	Ok
4	0	0.00%	Ok
5	0	0.00%	Ok
6	0	0.00%	Ok
7	0	0.00%	Ok
8	0	0.00%	Ok
9	0	0.00%	Ok
10	0	0.00%	Ok
11	0	0.00%	Ok
12	0	0.00%	Ok
13	0	0.00%	Ok
14	0	0.00%	Ok
15	0	0.00%	Ok
16	0	0.00%	Ok
17	0	0.00%	Ok
18	0	0.00%	Ok
19	0	0.00%	Ok
20	0	0.00%	Ok
21	0	0.00%	Ok
22	0	0.00%	Ok
23	0	0.00%	Ok
24	0	0.00%	Ok
25	0	0.00%	Ok
26	0	0.00%	Ok
27	0	0.00%	Ok
28	0	0.00%	Ok
29	0	0.00%	Ok
30	0	0.00%	Ok
31	0	0.00%	Ok

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
32	0	0.00%	Ok
33	0	0.00%	Ok
34	0	0.00%	Ok
35	0	0.00%	Ok
36	0	0.00%	Ok
37	0	0.00%	Ok
38	0	0.00%	Ok
39	0	0.00%	Ok
40	0	0.00%	Ok
THD	0	0.00%	Ok

En la tabla siguiente se presenta la evaluación detallada de la distorsión de la tensión de la Barra en 10,6kV de la SE Dolorespata.

Tabla 3. Evaluación detallada de mediciones de armónicas de tensión por NTCSE

Orden de Armónico (h)	Mínimo	Promedio	Máximo	Tolerancia según la NTCSE	Evaluación
2	0.08%	0.30%	0.90%	2.00%	Ok
3	0.20%	0.42%	0.69%	5.00%	OK
4	0.00%	0.09%	0.24%	1.00%	OK
5	0.73%	1.99%	3.14%	6.00%	OK
6	0.00%	0.05%	0.12%	0.50%	OK
7	0.33%	0.69%	1.06%	5.00%	OK
8	0.00%	0.01%	0.08%	0.50%	OK
9	0.00%	0.10%	0.16%	1.50%	OK
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%	OK
11	0.00%	0.13%	0.33%	3.50%	OK
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
13	0.00%	0.10%	0.24%	3.00%	OK
14	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
15	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	OK
16	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
17	0.00%	0.01%	0.08%	2.00%	OK
18	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
19	0.00%	0.00%	0.08%	1.50%	OK
20	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
21	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
22	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK

Orden de Armónico (h)	Mínimo	Promedio	Máximo	Tolerancia según la NTCSE	Evaluación
23	0.00%	0.00%	0.04%	1.50%	OK
24	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
25	0.00%	0.00%	0.08%	1.50%	OK
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
27	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
28	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%	OK
30	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
31	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%	OK
32	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
33	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
34	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%	OK
36	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
37	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%	OK
38	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
39	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
40	0.00%	0.00%	0.00%	0.20%	OK
THD	1.16%	2.17%	3.18%	8.00%	OK

El reporte muestra que no existen intervalos en falta por armónicas de tensión individuales ni con el factor de distorsión total por tensiones armónicas (THD-V).

2.2 CONTROL DE CALIDAD SEGÚN EL IEEE 519

2.2.1 Límites y Rangos Permitidos

El instituto Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mediante el grupo de trabajo "IEEE-PES Power System Harmonics" y en base a estudios de armónicos ha publicado el documento IEEE-519 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems) el cual establece límites para el control de los problemas ocasionados por los armónicos.

Los límites recomendables se refieren a las condiciones más desfavorables en régimen permanente de funcionamiento; por tanto, durante transitorios estos límites pueden, ser sobrepasados.

Es importante mencionar que el estándar IEEE 519 define solo recomendaciones prácticas de amplio uso en la industria eléctrica y no es una norma legal.

Para el caso de las empresas concesionarias éstas deben mantener un THD de tensión dentro de las tolerancias mientras los clientes finales deben mantener dentro

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

del límite establecido su inyección de corriente armónica. Asimismo, la empresa concesionaria debe asegurar que en su sistema eléctrico no existan frecuencias de resonancia que coincidan con las frecuencias de las corrientes armónicas de las cargas de los clientes finales.

Para establecer los límites de armónicas de corriente, éste estándar, considera los niveles de corto circuito de la red, ya que dicho parámetro está relacionado con la frecuencia de resonancia del sistema y con el THD de tensión.

A diferencia de la NTCSE, éste estándar contempla la evaluación de armónicas de corriente debido a que los armónicos de tensión en el sistema eléctrico son determinados en función a la corriente armónica inyectada y a la impedancia de la red del sistema a cada frecuencia.

El cálculo de los límites de las armónicas de corriente está en función de la magnitud de la carga, es decir, para cargas grandes tendrían menores límites dado que éstos representarían en mayor proporción el aporte de armónicos en la red.

2.2.1.1 Límites de Tensión Armónica

En esta recomendación no se diferencia entre las tasas de los distintos armónicos y se especifican valores máximos para el índice THD y armónicas individuales en función a la tensión a la frecuencia fundamental. Los límites especificados se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 4. Límites de distorsión de tensión

Tensión en el PAC	Distorsión de Tensión Individual (%)	Distorsión de la Tensión Total THD
Hasta 69kV	3,0	5,0
69,001kV a 161kV	1,5	2,5
Más de 161kV	1,0	1,5

2.2.1.2 Límites de Corrientes Armónicas

Los límites establecidos a los clientes individuales conectados al mismo punto de acoplamiento común se calculan en proporción a sus respectivas potencias instaladas. Los límites de corriente recomendados en los cuadros deben ser interpretados como “caso más desfavorable” en condiciones normales de funcionamiento de duración superior a una hora. Para períodos más breves, los valores de los cuadros pueden ser incrementados en un 50%.

Tabla 5. Límites de distorsión de corriente

Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas de Distribución (120 – 69.000V)						
I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD^1
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites de Armónicas de Corriente para cargas no lineales en el PAC con otras cargas (69.001V – 161.000V)						
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas de Alta Tensión (>161kV) con Generación y cogeneración Dispersas						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
> 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Los armónicos pares se limitan al 25% del límite de los armónicos impares. Las distorsiones de corriente que resulten de una corriente directa, tales como las de los convertidores de media onda, no son permitidas.

* Todos los equipos de generación de potencia se deben limitar a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de su I_{sc}/I_L

Donde:

I_{sc} = Máxima corriente de cortocircuito en el Punto de Acoplamiento Común (PAC)

I_L = Máxima corriente de carga (componente fundamental) en el Punto de Acoplamiento Común (PAC).

Los cuadros mostrados son aplicables a situaciones generales de distorsión y a rectificadores de seis pulsos. Sin embargo, cuando se aplican a transformadores de variación de fase o a convertidores de número de pulsos (q) mayor de seis, se pueden aumentar los límites de los armónicos característicos por un factor igual a $\sqrt{(q/6)}$, siempre que las amplitudes de los armónicos de órdenes no característicos estén debajo del 25 por ciento de los límites especificados en las tablas.

2.2.2 Análisis y Evaluación de Mediciones de armónicas de tensión

El cuadro siguiente muestra el resultado obtenido de las mediciones de las armónicas de tensión desde el orden 2 hasta el 40.

Tabla 6. Evaluación de mediciones de armónicas de tensión por IEEE519

¹ Total Current Demand Distortion

EVALUACION DE MEDICIONES DE TENSIONES ARMONICAS

SUBESTACION	DOLORESPATA
TENSION NOMINAL [V]	10.6
ESTADO DE LA MEDICIÓN	VALIDA
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008
No DE INTERVALOS EN FALTA	2
% DE INTERVALOS EN FALTA	0.2%
FECHA DE INICIO	12/24/2012 11:30
FECHA DE RETIRO	12/31/2012 12:00

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0.00%	Ok
3	0	0.00%	Ok
4	0	0.00%	Ok
5	2	0.20%	En falta
6	0	0.00%	Ok
7	0	0.00%	Ok
8	0	0.00%	Ok
9	0	0.00%	Ok
10	0	0.00%	Ok
11	0	0.00%	Ok
12	0	0.00%	Ok
13	0	0.00%	Ok
14	0	0.00%	Ok
15	0	0.00%	Ok
16	0	0.00%	Ok
17	0	0.00%	Ok
18	0	0.00%	Ok
19	0	0.00%	Ok
20	0	0.00%	Ok
21	0	0.00%	Ok
22	0	0.00%	Ok
23	0	0.00%	Ok
24	0	0.00%	Ok
25	0	0.00%	Ok
26	0	0.00%	Ok
27	0	0.00%	Ok
28	0	0.00%	Ok
29	0	0.00%	Ok
30	0	0.00%	Ok
31	0	0.00%	Ok
32	0	0.00%	Ok
33	0	0.00%	Ok
34	0	0.00%	Ok
35	0	0.00%	Ok
36	0	0.00%	Ok

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
37	0	0.00%	Ok
38	0	0.00%	Ok
39	0	0.00%	Ok
40	0	0.00%	Ok
THD	0	0.00%	Ok

En la tabla siguiente se presenta la evaluación detallada de la distorsión de la tensión de la Barra en 10,6kV de la SE Dolorespata.

Tabla 7. Evaluación detallada de mediciones de armónicas de tensión por IEEE519

Orden de Armónico (h)	Mínimo	Promedio	Máximo	Tolerancia según la NTCSE	Evaluación
2	0.08%	0.30%	0.90%	3.00%	Ok
3	0.20%	0.42%	0.69%	3.00%	OK
4	0.00%	0.09%	0.24%	3.00%	OK
5	0.73%	1.99%	3.14%	3.00%	En falta
6	0.00%	0.05%	0.12%	3.00%	OK
7	0.33%	0.69%	1.06%	3.00%	OK
8	0.00%	0.01%	0.08%	3.00%	OK
9	0.00%	0.10%	0.16%	3.00%	OK
10	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
11	0.00%	0.13%	0.33%	3.00%	OK
12	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
13	0.00%	0.10%	0.24%	3.00%	OK
14	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
15	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
16	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
17	0.00%	0.01%	0.08%	3.00%	OK
18	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
19	0.00%	0.00%	0.08%	3.00%	OK
20	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
21	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
22	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
23	0.00%	0.00%	0.04%	3.00%	OK
24	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
25	0.00%	0.00%	0.08%	3.00%	OK
26	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
27	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
28	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
29	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
30	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
31	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
32	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
33	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
34	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
35	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
36	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
37	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK

Orden de Armónico (h)	Mínimo	Promedio	Máximo	Tolerancia según la NTCSE	Evaluación
38	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
39	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
40	0.00%	0.00%	0.00%	3.00%	OK
THD	1.16%	2.17%	3.18%	5.00%	OK

El reporte muestra que existen 2 intervalos en falta por la 5ta armónica, sin embargo no se presentan faltas con el factor de distorsión total por tensiones armónicas (THD-V).

En el Ítem 7 del presente informe se presenta el barrido de frecuencias.

2.3 ESPECTRO DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN

En el siguiente gráfico se muestra el espectro de armónicos de tensión, realizado a partir de las mediciones realizadas en diciembre 2012 en la barra de 10,6 kV de la SE Dolorespata.

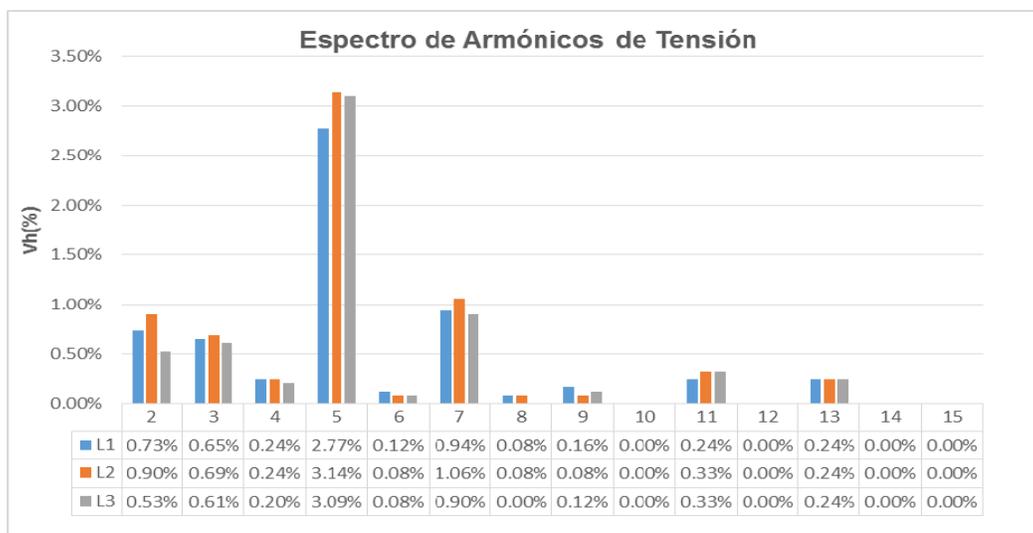


Figura N° 2 Espectros de Armónicas de Tensión

Del gráfico mostrado podemos concluir la presencia de la 5ta armónica con un THD de 3% en promedio, así como la presencia de la 7ma armónica en un promedio de 1%.

3. ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA

Dado que el sistema eléctrico está compuesto por resistencias, inductancias y capacitancias es necesario determinar la impedancia equivalente en los nodos en donde se instalará el banco de condensadores.

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

La impedancia a calcular estará en función al orden armónico (h), es decir, en función de la frecuencia teniendo como valor inicial 60 Hz (h=1) hasta 1000 Hz (h=16.6).

Analizar el comportamiento de la impedancia en función a la frecuencia es importante para poder determinar si existen frecuencias de resonancia en la red y a la vez si éstas se encuentran dentro de la banda de frecuencia de la armónica de corriente más representativa de la red, que en este caso son las de orden 5 y 7.

Para el presente análisis se considera que las resistencias no varían en función a la frecuencia. Para el caso de los inductores y capacitores, sí se considera que su impedancia varia, ya que su reactancia está relacionada con la frecuencia de la red y las frecuencias armónicas (h).

La frecuencia de resonancia estaría determinada por la siguiente fórmula:

$$f_r = f * \sqrt{\frac{X_c}{X_{Lequivalente}}}$$

Donde:

- f : Frecuencia fundamental.
- fr : Frecuencia de resonancia.
- Xc : Reactancia capacitiva del sistema de compensación.
- XLequivalente : Reactancia inductiva equivalente de la red.

Según la fórmula anterior el valor de la frecuencia de resonancia no depende de la corriente fundamental ni armónica sino de la impedancia equivalente de la red en el nodo analizado y la impedancia equivalente del condensador.

Otra fórmula importante para la determinación de la frecuencia de resonancia en función a la potencia de corto circuito en un nodo eléctrico en donde se realizará la compensación, es la siguiente:

$$fr = f * \sqrt{\frac{SCC}{Q}}$$

Donde:

- f : Frecuencia fundamental.
- fr : Frecuencia de resonancia.
- SCC : Potencia de Corto Circuito de la Red.
- Q : Potencia del Condensador.

3.1 FRECUENCIA DE RESONANCIA OBTENIDA PARA EL NUEVO BANCO DE CONDENSADORES

Para obtener las frecuencias de resonancia en el nodo Dolorespata 10,6kV se ha realizado un cálculo teórico empleándose la segunda fórmula presentada en la sección

anterior, para ello se analizó un rango de corrientes de cortocircuito que comprende desde 12kA a 21kA; valores obtenidos del archivo Digsilent del COES del planeamiento del Sistema Interconectado Nacional 2013-2016; ver cuadro siguiente:

Tabla 8. Corrientes de Cortocircuito Trifásico en Barras 10.6kV 2013-2016

	2013	2014	2015	2016
	11.5KV	10.6kV	10.6kV	10.6kV
Trifásico	12.211	12.654	17.594	20.346
Monofásico	0	0	0	0
S(MVA)	224.19	232.32	323.02	373.55

Fuente: Simulaciones de Cortocircuito Archivo Digsilent del COES 2013-2016.

De la tabla N°8 se concluye que el rango de corrientes de cortocircuito están entre 12 kA y 21 kA; para nuestro caso hemos analizado desde 10 kA hasta 21 kA.

En la tabla N°8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos del cálculo para las tres distintas condiciones de operación del nuevo banco de condensadores a ser instalado en la barra de 10,6kV de la SE Dolorespata.

Estas condiciones son: 1 banco de 3,75 MVAR activo, 2 bancos activos (7,5 MVAR) y 3 bancos activos (11,25 MVAR).

Tabla 9. Frecuencias de Resonancia en la barra en 10,6kV de la SE Dolorespata

Icc kA	Scc MVA	Frecuencias de Resonancia Hz			Armónico de Resonancia Hz		
		Banco 3.75 MVAR	Banco 7.5 MVAR	Banco 11.25 MVAR	Banco 3.75MVAR	Banco 7.5 MVAR	Banco 11.25 MVAR
10.00	183.60	419.8	296.9	242.4	7.0	4.9	4.0
10.25	188.19	425.0	300.5	245.4	7.1	5.0	4.1
10.50	192.78	430.2	304.2	248.4	7.2	5.1	4.1
10.75	197.37	435.3	307.8	251.3	7.3	5.1	4.2
11.00	201.96	440.3	311.4	254.2	7.3	5.2	4.2
11.25	206.55	445.3	314.9	257.1	7.4	5.2	4.3
11.50	211.14	450.2	318.3	259.9	7.5	5.3	4.3
11.75	215.73	455.1	321.8	262.7	7.6	5.4	4.4
12.00	220.32	459.9	325.2	265.5	7.7	5.4	4.4
12.25	224.91	464.7	328.6	268.3	7.7	5.5	4.5
12.50	229.50	469.4	331.9	271.0	7.8	5.5	4.5
12.75	234.09	474.0	335.2	273.7	7.9	5.6	4.6
13.00	238.68	478.7	338.5	276.4	8.0	5.6	4.6
13.25	243.27	483.3	341.7	279.0	8.1	5.7	4.7
13.50	247.86	487.8	344.9	281.6	8.1	5.7	4.7
13.75	252.45	492.3	348.1	284.2	8.2	5.8	4.7
14.00	257.04	496.7	351.3	286.8	8.3	5.9	4.8
14.25	261.63	501.2	354.4	289.3	8.4	5.9	4.8
14.50	266.22	505.5	357.5	291.9	8.4	6.0	4.9
14.75	270.81	509.9	360.5	294.4	8.5	6.0	4.9

Icc kA	Scc MVA	Frecuencias de Resonancia Hz			Armónico de Resonancia Hz		
		Banco 3.75 MVAR	Banco 7.5 MVAR	Banco 11.25 MVAR	Banco 3.75MVAR	Banco 7.5 MVAR	Banco 11.25 MVAR
15.00	275.40	514.2	363.6	296.9	8.6	6.1	4.9
15.25	279.99	518.4	366.6	299.3	8.6	6.1	5.0
15.50	284.58	522.7	369.6	301.8	8.7	6.2	5.0
15.75	289.17	526.9	372.6	304.2	8.8	6.2	5.1
16.00	293.76	531.0	375.5	306.6	8.9	6.3	5.1
16.25	298.35	535.2	378.4	309.0	8.9	6.3	5.1
16.50	302.94	539.3	381.3	311.4	9.0	6.4	5.2
16.75	307.53	543.3	384.2	313.7	9.1	6.4	5.2
17.00	312.12	547.4	387.1	316.0	9.1	6.5	5.3
17.25	316.71	551.4	389.9	318.3	9.2	6.5	5.3
17.50	321.30	555.4	392.7	320.6	9.3	6.5	5.3
17.75	325.89	559.3	395.5	322.9	9.3	6.6	5.4
18.00	330.48	563.3	398.3	325.2	9.4	6.6	5.4
18.25	335.07	567.2	401.0	327.4	9.5	6.7	5.5
18.50	339.66	571.0	403.8	329.7	9.5	6.7	5.5
18.75	344.25	574.9	406.5	331.9	9.6	6.8	5.5
19.00	348.84	578.7	409.2	334.1	9.6	6.8	5.6
19.25	353.42	582.5	411.9	336.3	9.7	6.9	5.6
19.50	358.01	586.3	414.5	338.5	9.8	6.9	5.6
19.75	362.60	590.0	417.2	340.6	9.8	7.0	5.7
20.00	367.19	593.7	419.8	342.8	9.9	7.0	5.7
20.25	371.78	597.4	422.4	344.9	10.0	7.0	5.7
20.50	376.37	601.1	425.0	347.0	10.0	7.1	5.8
20.75	380.96	604.8	427.6	349.2	10.1	7.1	5.8
21.00	385.55	608.4	430.2	351.3	10.1	7.2	5.9

Del cuadro anterior se observa que en algunas condiciones de operación existe más de una frecuencia de resonancia.

También se observa que las frecuencias de resonancia estarían dentro de la banda de la 5ta, 7ma armónica para el rango de corrientes de cortocircuito analizado.

Del cuadro se concluye además del análisis del espectro de armónicos sería necesario instalar filtros desintonizados para la 5ta y 7ma armónica, que no tiene el objetivo de filtrar la armónica si no el de desintonizar para eliminar probabilidad de resonancia y en consecuencia salidas de servicio del sistema asociado.

3.2 FRECUENCIA DE RESONANCIA OBTENIDA CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DEL BANCO DE CONDENSADORES EXISTENTE

En la presente sección se calculan las frecuencias de resonancia en la barra de 10,6 kV de la SE Dolorespata, considerando además del nuevo banco de condensadores de 3 x 3,75 MVAR la influencia del banco existente de 4 x 2,5 MVAR instalado en

dicha barra; el análisis se consideran para el mismo rango de corrientes de cortocircuito de 10kA hasta 21 kA.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos del cálculo para las distintas condiciones de operación de los bancos de condensadores y su frecuencia de resonancia

Tabla 10. Armónicos de Resonancia en la barra en 10,6kV de la SE Dolorespata

Icc	Scc	Frecuencias de Resonancia Hz considerando la influencia del Banco de Condensadores Existente											
		kA	MVA	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos	Bancos
				6.25MVA	8.75MVA	10MVA	11.25MVA	12.5MVA	13.75MVA	16.25MVA	15MVA	17.5MVA	18.75MVA
10.00	183.60	5.4	4.6	4.3	4.0	3.8	3.7	3.4	3.5	3.2	3.1	2.9	
10.25	188.19	5.5	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7	3.4	3.5	3.3	3.2	3.0	
10.50	192.78	5.6	4.7	4.4	4.1	3.9	3.7	3.4	3.6	3.3	3.2	3.0	
10.75	197.37	5.6	4.7	4.4	4.2	4.0	3.8	3.5	3.6	3.4	3.2	3.0	
11.00	201.96	5.7	4.8	4.5	4.2	4.0	3.8	3.5	3.7	3.4	3.3	3.1	
11.25	206.55	5.7	4.9	4.5	4.3	4.1	3.9	3.6	3.7	3.4	3.3	3.1	
11.50	211.14	5.8	4.9	4.6	4.3	4.1	3.9	3.6	3.8	3.5	3.4	3.2	
11.75	215.73	5.9	5.0	4.6	4.4	4.2	4.0	3.6	3.8	3.5	3.4	3.2	
12.00	220.32	5.9	5.0	4.7	4.4	4.2	4.0	3.7	3.8	3.5	3.4	3.2	
12.25	224.91	6.0	5.1	4.7	4.5	4.2	4.0	3.7	3.9	3.6	3.5	3.3	
12.50	229.50	6.1	5.1	4.8	4.5	4.3	4.1	3.8	3.9	3.6	3.5	3.3	
12.75	234.09	6.1	5.2	4.8	4.6	4.3	4.1	3.8	4.0	3.7	3.5	3.3	
13.00	238.68	6.2	5.2	4.9	4.6	4.4	4.2	3.8	4.0	3.7	3.6	3.4	
13.25	243.27	6.2	5.3	4.9	4.7	4.4	4.2	3.9	4.0	3.7	3.6	3.4	
13.50	247.86	6.3	5.3	5.0	4.7	4.5	4.2	3.9	4.1	3.8	3.6	3.4	
13.75	252.45	6.4	5.4	5.0	4.7	4.5	4.3	3.9	4.1	3.8	3.7	3.4	
14.00	257.04	6.4	5.4	5.1	4.8	4.5	4.3	4.0	4.1	3.8	3.7	3.5	
14.25	261.63	6.5	5.5	5.1	4.8	4.6	4.4	4.0	4.2	3.9	3.7	3.5	
14.50	266.22	6.5	5.5	5.2	4.9	4.6	4.4	4.0	4.2	3.9	3.8	3.5	
14.75	270.81	6.6	5.6	5.2	4.9	4.7	4.4	4.1	4.2	3.9	3.8	3.6	
15.00	275.40	6.6	5.6	5.2	4.9	4.7	4.5	4.1	4.3	4.0	3.8	3.6	
15.25	279.99	6.7	5.7	5.3	5.0	4.7	4.5	4.2	4.3	4.0	3.9	3.6	
15.50	284.58	6.7	5.7	5.3	5.0	4.8	4.5	4.2	4.4	4.0	3.9	3.7	
15.75	289.17	6.8	5.7	5.4	5.1	4.8	4.6	4.2	4.4	4.1	3.9	3.7	
16.00	293.76	6.9	5.8	5.4	5.1	4.8	4.6	4.3	4.4	4.1	4.0	3.7	
16.25	298.35	6.9	5.8	5.5	5.1	4.9	4.7	4.3	4.5	4.1	4.0	3.7	
16.50	302.94	7.0	5.9	5.5	5.2	4.9	4.7	4.3	4.5	4.2	4.0	3.8	
16.75	307.53	7.0	5.9	5.5	5.2	5.0	4.7	4.4	4.5	4.2	4.0	3.8	
17.00	312.12	7.1	6.0	5.6	5.3	5.0	4.8	4.4	4.6	4.2	4.1	3.8	
17.25	316.71	7.1	6.0	5.6	5.3	5.0	4.8	4.4	4.6	4.3	4.1	3.9	
17.50	321.30	7.2	6.1	5.7	5.3	5.1	4.8	4.4	4.6	4.3	4.1	3.9	
17.75	325.89	7.2	6.1	5.7	5.4	5.1	4.9	4.5	4.7	4.3	4.2	3.9	
18.00	330.48	7.3	6.1	5.7	5.4	5.1	4.9	4.5	4.7	4.3	4.2	3.9	
18.25	335.07	7.3	6.2	5.8	5.5	5.2	4.9	4.5	4.7	4.4	4.2	4.0	
18.50	339.66	7.4	6.2	5.8	5.5	5.2	5.0	4.6	4.8	4.4	4.3	4.0	
18.75	344.25	7.4	6.3	5.9	5.5	5.2	5.0	4.6	4.8	4.4	4.3	4.0	
19.00	348.84	7.5	6.3	5.9	5.6	5.3	5.0	4.6	4.8	4.5	4.3	4.1	
19.25	353.42	7.5	6.4	5.9	5.6	5.3	5.1	4.7	4.9	4.5	4.3	4.1	
19.50	358.01	7.6	6.4	6.0	5.6	5.4	5.1	4.7	4.9	4.5	4.4	4.1	
19.75	362.60	7.6	6.4	6.0	5.7	5.4	5.1	4.7	4.9	4.6	4.4	4.1	

Icc	Scc	Frecuencias de Resonancia Hz considerando la influencia del Banco de Condensadores Existente										
		Bancos 6.25MVA	Bancos 8.75MVA	Bancos 10MVA	Bancos 11.25MVA	Bancos 12.5MVA	Bancos 13.75MVA	Bancos 16.25MVA	Bancos 15MVA	Bancos 17.5MVA	Bancos 18.75MVA	Bancos 21.25MVA
20.00	367.19	7.7	6.5	6.1	5.7	5.4	5.2	4.8	4.9	4.6	4.4	4.2
20.25	371.78	7.7	6.5	6.1	5.7	5.5	5.2	4.8	5.0	4.6	4.5	4.2
20.50	376.37	7.8	6.6	6.1	5.8	5.5	5.2	4.8	5.0	4.6	4.5	4.2
20.75	380.96	7.8	6.6	6.2	5.8	5.5	5.3	4.8	5.0	4.7	4.5	4.2
21.00	385.55	7.9	6.6	6.2	5.9	5.6	5.3	4.9	5.1	4.7	4.5	4.3

De la tabla N°10 se observa que las frecuencias de resonancia estarían dentro de la banda de la 3ra, 5ta y 7ma para las distintas condiciones de operación analizadas, siendo la 3ra armónica, 5ta armónica y la 7ma armónica que coincide con las armónicos de la red y se genera el riesgo de resonancia.

En conclusión para mitigar el riesgo y minimizar las probabilidades de resonancia con la 5ta y 7ma armónicas se recomienda implementar un filtro desintonizado; para lo cual se sugiere el suministro e instalación adicionales de reactancias desintonizadas de 5,07 mH y el incremento de la potencia del banco de capacitores a 3 x 5,31 MVAR.

4. COMPARACIÓN BANCO DE CONDENSADORES OFERTADOS – BANCO DE CONDENSADORES SUGERIDO

A continuación analizaremos las implicancias de los resultados del análisis de las mediciones de armónicos llevados a cabo en diciembre 2012.

4.1 BANCO DE CONDENSADORES OFERTADO

El banco de condensadores especificado y ofertado es de 3x3,75 MVAR con una reactancia de choque de 75 μ H para limitar la corriente de inserción (Inrush) al sistema. La función esencial de esta reactancia de choque es limitar la corriente de inserción del banco de condensadores a valores permisibles de manera tal que los equipos de maniobra de protección del banco no resulten dañados por esta corriente.

Sin embargo del análisis de armónicas se deduce la presencia de armónicas en el sistema existente y que hay una probabilidad significativa para la amplificación de estas armónicas, sobre todo la armónicas 5^{ta} y 7^{ma}, pudiendo éstas causar perturbaciones o resonancias, que podrían afectar la normal operación de la red.

Como se explicó, la función de los reactores de choque, solo es el de limitar la corriente de irrupción (inrush), pudiendo el sistema ser afectado por problemas de resonancia; para ello se propone -en base a las mediciones de diciembre 2012- el suministro e instalación de reactores de 5,07 mH y el incremento de la potencia de los

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

bancos de capacitores a 3 x 5,31v MVAR. con el objetivo de mover la frecuencia de resonancia.

4.2 BANCO DE CONDENSADORES SUGERIDO

Como se detalló en el punto anterior la presencia de armónicas en el sistema podrían causar problemas de resonancia y/o amplificación de armónicos. Para mitigar estos riesgos se propone, como resultado del análisis de las mediciones de diciembre 2012, un Filtro de Compensación reactiva (reactor desintonizado): Para ello, se recomienda la instalación de reactancias desintonizadas de 5,07 mH y el incremento de la potencia del banco de capacitores a

La función del reactor desintonizado es el de sacar del intervalo de análisis las armónicas potencialmente peligrosas que podrían causar un problema de resonancia; para nuestro caso se ha analizado el sistema para una corriente de cortocircuito desde 10 kA hasta 21 kA.

4.3 DATOS TÉCNICOS DE BANCO DE CONDENSADORES

En las tablas N° 11 y 12 se muestran comparativamente los bancos de condensadores ofertados conforme a los requerimientos de las Bases Integradas versus los bancos de condensadores sugeridos por ABB como resultado del análisis de las mediciones de diciembre 2012.

Tabla 11. Datos Técnicos Banco de Condensadores ofertados vs Banco de Condensadores Sugerido

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OERTADO (Conforme a lo requerido por Egensa)	SUGERIDO (Conforme al resultado del presente Informe)
1.	Fabricante		ABB	ABB
2.	País		Sweden	Sweden
3.	Referencia			
4.	Norma		IEC 60871-1	IEC 60871-1
5.	Altura de Instalación	msnm	3400	3400
6.	Humedad relativa	%	85	85
7.	Tensión más elevada para el material (Um)	kV	14,8	14,8
8.	Tensión asignada (UN)	kV	10,6	10,6
9.	Frecuencia asignada (fn)	Hz	60	60
10.	Corriente de cortocircuito	kA	25	25
11.	Potencia asignada en barras de la subestación a la tensión nominal asignada UN (QN)	MVAR	3 x 3,75	3 x 5.31
12.	Corriente asignada (IN)	A	204,3 A	204,3 A
	Capacitancia			
13.	a) Capacitancia asignada (CN)	µF	88,5	88,5
	b) Tolerancia	%	-2/2%	-2/2%
	Nivel de aislamiento			
14.	a) Tensión soportada al impulso tipo rayo (Up)	kV pico	95	95
	b) Tensión soportada a la frecuencia industrial (Ud)	kV	50	50
	c) Gradiente de tensión	kV/mm		
15.	Tipo de conexión		Y-Y	Y-Y
16.	Tratamiento del neutro		Insulated	Insulated

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OERTADO (Conforme a lo requerido por Egensa)	SUGERIDO (Conforme al resultado del presente Informe)
17.	Aislamiento del neutro	%	100	100
18.	Tensión máxima admisible			
	a) Continuamente U_N	kV	10,6	10,6
19.	Corriente máxima admisible	A		
20.	Dispositivo de descarga		Yes	Yes
	a) Tiempo de descarga	min	5	5
21.	Pérdidas totales a U_N y 25 °C	kW	<0,25	<0,25
22.	Número de condensadores unitarios por fase			
	a) En serie		1	1
	b) En paralelo		2	2
23.	Tipo de ejecución		Outdoor	Outdoor
24.	Tasa de falla por año	Un./año	0-2%	0-2%
25.	Número de operaciones admisibles al año		1500	1500
26.	Placa de Identificación de fases		si	si

Tabla 12. Reactancias

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OFERTADO	SUGERIDO
1.	Fabricante		Coil Innovation	
2.	País		Austria	
3.	Referencia		FR 5.07 / 232 /	
4.	Tipo		Reactancia de Choque	Reactancia de Rechazo (Reactor Desintonizado)
5.	Norma		IEC 600076-6	IEC 600076-6
6.	Tensión más elevada para el material (U_m)	kV	12	12
7.	Tensión asignada soportada al impulso tipo rayo	kV	95	95
8.	Tipo de aislamiento		Air-core	Air-core
9.	Corriente permanente asignada (I_N)	A	214,5	214,5
10.	Inductancia asignada (L_N)	$\mu\text{H} / \text{mH}$	75	5,07
11.	Frecuencia asignada (f_N)	Hz	60	60

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

5. **CONCLUSIONES**

Respecto a las mediciones de armónicas de tensión evaluados según la NTCSE MEDICIONES DE DICIEMBRE 2012:

- Los factores de distorsión individuales se encuentran dentro del rango admisible (6% para la 5ta armónica) para todos los intervalos registrados en el punto eléctrico analizado.
- El factor de distorsión por tensiones armónicas total también se encuentra dentro de la tolerancia estipulada por la NTCSE (8%).

Respecto a las mediciones de armónicas de tensión evaluados según la IEEE519

- Los factores de distorsión individuales se encuentran dentro del rango admisible (3%) para todos los intervalos registrados en el punto eléctrico analizado a excepción de dos intervalos (de los 1008 registrados) en los que la 5ta armónica supera este valor.
- El factor de distorsión por tensiones armónicas total se encuentra dentro de la tolerancia estipulada por la NTCSE (5%).

Respecto a la frecuencia de resonancia.

- La frecuencia de resonancia se desplazará para cualquier escenario en donde se aumenten los pasos de los bancos de condensadores debido al cambio de impedancia de los condensadores. Por tal razón, mientras operen los filtros desintonizados sin los bancos automáticos, el sistema de compensación tendrá mejor performance.
- Se observa que para distintas condiciones de operación de los bancos de condensadores las armónicas más representativas son las de orden 3, 5, 7, 9 y 11; coincidiendo con 5ta y 7ma armónica de los armónicos de la red. En base a los resultados obtenidos del análisis de las mediciones de diciembre 2012, se recomienda, la instalación de un filtro desintonizado de compensación para la 5ta y 7ma armónicas. Para ello, se sugiere el suministro e instalación adicionales de reactancias de rechazo de armónicos de 5,07 mH y el incremento de la potencia del banco de capacitores a 3 x 5,31 MVAR.

MEDICIONES DE JULIO 2013:

En el siguiente gráfico se muestra el espectro de armónicos de tensión, realizado a partir de las mediciones en la barra de 10,6 kV de la SE Dolorespata en el mes de Julio durante el periodo de 1 semana.

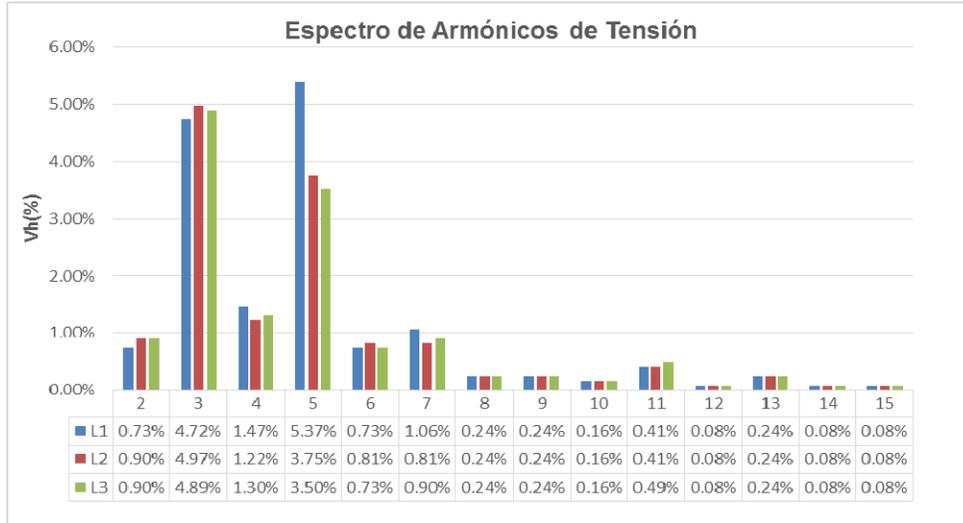


Figura N° 3 Espectros de Armónicas de Tensión

Del gráfico mostrado podemos concluir la presencia de la 5ta armónica con un THD de 5% en promedio, así como la presencia de la 3ra armónica en un promedio de 5%.

- Del análisis de las mediciones de julio 2013, se observa la necesidad de que el filtro desintonizado sea también para la 3ra. armónica, por lo que es objeto de revisión adicional para fines de validación o modificación de las características previamente sugeridas de las reactancias desintonizadas y el incremento de la potencia del banco de capacitores.

MEDICIONES COMPLEMENTARIAS

El presente informe se actualizará con las nuevas medidas de armónicas de tensión y corriente a ser realizadas por EGEMSA en la barra en 10.6kV durante un periodo mínimo de 7 días en la subestación Dolorespata.

6. RECOMENDACIONES

- Como resultado del análisis de resonancia y del espectro de tensiones armónicas realizado, se concluye que existe el riesgo potencial y probabilidades significativas de que las armónicas 3ra, 5ta y 7ma entren en resonancia con la frecuencia

PE ABB Power Systems		Informe Técnico	
Departamento de Ingeniería		SE Dolorespata 10,6 kV	REV : B

natural de los Bancos de Condensadores, y afectar la normal operación del sistema eléctrico asociado.

- Se recomienda a EGEMSA implementar un plan de reducción de armónicas en su red, sobretodo de las fuentes que inyecten la 3ra, 5ta y 7ma armónicas que actualmente están presentes en la red.
- Para mitigar el riesgo de de resonancia y/o amplificación de armónicos, considerando las mediciones de armónicos de diciembre 2012 y julio 2013 se recomienda la instalación de un filtro desintonizado de compensación
- Para los valores de Icc, analizados; comprendidos entre 10 y 21 kA conforme a la tabla N°8, existe el riesgo de resonancia y en tal sentido, sugerimos la implementación de un filtro de armónicos desintonizado, lo cual a nuestro juicio, constituye una mejora técnica en la solución a ser implementada y la reducción sustancial de las probabilidades de ocurrencia de resonancia y/o amplificación de armónicos.

7. ANEXO DE BARRIDO DE FRECUENCIA

