

# Estudio de Calidad de la Energía Implementando Filtros Activos para la Corrección de Armónicos

Nairo J. Cavieles Rojas\*, Juan H. Acosta Aguazaco\*\* y Elkin E. Estupiñán Pérez\*\*\*

\*Universidad Antonio Nariño Sede Tunja, [nacavieles@uan.edu.co](mailto:nacavieles@uan.edu.co) \*\* [juanacosta@uan.edu.co](mailto:juanacosta@uan.edu.co)

\*\*\*[elkinestupinan123@gmail.com](mailto:elkinestupinan123@gmail.com)

**Resumen** — La Universidad Antonio Nariño - sede Tunja, viene impulsando estudios de calidad de la energía para caracterizar el estado en el que se encuentran las señales eléctricas, ya que la industria Boyacense ha venido en expansión en las últimas décadas, y el sector minero ha contribuido en gran medida al consumo progresivo de energía eléctrica a través de máquinas movidas por motores potentes. Este proyecto se fundamenta en el estudio, análisis y planteamiento de soluciones para los problemas causados por armónicos, en las instalaciones eléctricas de uso final de baja tensión, existentes en la Trituradora de Piedra vereda Socotasito Municipio de Paz de Rio, justificado por los problemas presentes en calidad de la energía y planteando una solución mediante la aplicación de filtros activos. El estudio se llevó a cabo con el propósito de aumentar la eficiencia, confiabilidad y calidad en los procesos que se desarrollan dentro de la empresa; pero también de disminuir el impacto ambiental al mitigar las componentes armónicas, que se reflejan principalmente en la disminución del consumo de energía eléctrica, al reducirse la potencia reactiva consumida, los campos electromagnéticos presentes en la planta, así como los posibles efectos psicofísicos que estos tienen sobre el personal. El impacto social asociado es la concientización por parte de las industrias, de la importancia del control y funcionamiento de sus maquinarias y procesos de forma confiable, segura y eficiente, sin que se afecte la calidad de la producción, aumentando la competitividad y teniendo unos mejores estándares de seguridad industrial, especialmente al reducirse el riesgo eléctrico. El impacto económico se verá justificado en la no interrupción con paradas de la planta, asociado a las interrupciones y mantenimientos predictivos - correctivos en las maquinarias; así mismo la reducción del costo de la factura de energía por disminución del consumo de energía reactiva.

**Palabras clave** — Armónicos, filtros activos, flicker, calidad de la energía.

**Abstract** — The Universidad Antonio Nariño - Tunja, is promoting studies about power quality to characterize the electrical signals, since industry in Boyaca has been growing in the last decades, and the mining sector has contributed to the progressive consumption of electrical energy using machines with powerful motors. This project is based on the study, analysis and approaching solutions of the problems caused by harmonic distortion, in the electrical utility of low voltage, existing in the stone crusher path of Socalito municipality Paz del Rio, due to present problems in power quality, and approaching a solution through active filters application. The study was carried out with the purpose of increasing efficiency, reliability and quality in the processes that are developed within the company; but also to reduce the environmental impact by reducing the harmonic components which are reflected mainly in the decrease in the consumption of electric power, mainly due to the reduced reactive power consumption, electromagnetic fields present in the plant, as well as possible physical effects that these have on the workers. The social impact associated is the awareness about the importance of controlling and operating their machines and processes reliably, safely and efficiently, without affecting the quality of production, increasing the competitiveness and taking best standards of industrial safety, especially reducing

electric hazard. The economical impact will be justified with the no interruption of plant production which is associated to interruptions and predictive - corrective maintenance in the machinery; in the same way the cost reduction of the electric bill could be reduced by reducing the reactive power consumption.

**Keywords** — Harmonics, active filters, flicker, power quality.

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de la energía eléctrica, el aumento del uso de cargas no lineales y la utilización de equipos electrónicos susceptibles a las fluctuaciones de tensión, han traído como consecuencia el incremento de los niveles de componentes armónicas en los sistemas eléctricos y la preocupación por parte de los ingenieros debido al impacto que puede ser generado.

El presente artículo proviene de un proyecto que apunta a una de las posibles soluciones a los inconvenientes que posee la trituradora de piedra en la vereda Socotasito del Municipio de Paz de Rio debido a los armónicos que generan los equipos eléctricos instalados, como motores de gran potencia. El estudio plantea y diseña una solución mediante filtros activos con el propósito de aumentar la eficiencia, confiabilidad y calidad de la energía eléctrica en la empresa, buscando finalmente incrementar su productividad, ya que por petición del gerente y los consumidores se desea que el sistema de producción sea más rápido y eficiente, reduciendo en algún porcentaje el costo de fabricación.

En la planta trituradora de piedra esta energía reactiva ha aumentado considerablemente por el uso de motores eléctricos de gran potencia, y como las empresas prestadoras de servicio, por reglamentación del ente regulador nacional - CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) [1], se ven en la necesidad de sancionar económicamente a las empresas que no controlen su factor de potencia, esto se ha visto reflejado en un considerable sobrecosto en el pago de energía.

## II. FUNDAMENTACIÓN

### A. Calidad de la potencia.

Cuando se hace referencia a Calidad de la Energía se está hablando también de Calidad de la Potencia Eléctrica - CPE, las cuales son un conjunto de características eléctricas que nos permiten establecer los valores de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a unos parámetros técnicos de referencia, determinando también el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas. En la Fig. 1 se puede observar un organigrama que ubica la calidad de la potencia dentro de la calidad del servicio eléctrico y la calidad de la energía.

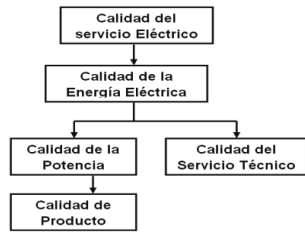


Fig. 1: Calidad del servicio eléctrico

Estos parámetros en las desviaciones de la onda de tensión sinusoidal son medidos en relación del valor absoluto de la diferencia máxima entre la onda distorsionada y el valor de cresta de las frecuencias fundamentales. Otro parámetro es el factor de distorsión o llamado factor armónico, el cual establece la relación de la media cuadrática del contenido armónico al valor eficaz de la cantidad de frecuencias fundamentales, expresado como un porcentaje de las frecuencias fundamentales, lo cual se puede obtener mediante (1).

$$DF = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} 2 F_n^2}{F_1^2}} \times 100\% \quad (1)$$

En donde,

DF: Índice de la distorsión armónica total

$F_n$ : Amplitud de todos los armónicos

$F_1$ : Amplitud de la onda fundamental.

Una distorsión armónica es simplemente la deformación de la onda senoidal pura, el cual tiene una duración esporádica. Este concepto proviene del teorema de Fourier y define que, bajo ciertas condiciones analíticas, una función periódica cualquiera puede considerarse integrada por una suma de funciones senoidales.

La distorsión armónica es ocasionada por cargas no lineales, o algunos equipos como lo son los variadores de frecuencia, convertidores de corriente alterna a corriente continua (CA – CC), entre otros. Dentro de sus efectos se observa el sobrecalentamiento de motores y transformadores, parpadeo en el alumbrado, deterioro del factor de potencia, retraso en el ángulo de disparo de tiristores, aumento de corrientes en los neutros y problemas en el control de procesos.

La calidad de la potencia entregada por un Operador de Red – OR, se relaciona con las desviaciones de los valores especificados para las variables de tensión y la forma de las ondas de tensión y corriente [2], [3].

### B. Perturbaciones de calidad de la potencia.

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la forma de onda de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la misma, cuyas magnitudes normalmente no exceden los rangos determinados para las desviaciones estacionarias de  $\pm 10\%$ , las cuales pueden causar que salgan de operación los motores, cambios de velocidad de giro, daños en los computadores y aparatos electrónicos, entre otros [1].

El término *flicker* se deriva del impacto que tienen las fluctuaciones de tensión sobre las lámparas incandescentes, las cuales son percibidas por el ojo humano como parpadeos. Para hacer claridad, las fluctuaciones de tensión son el fenómeno electromagnético mientras que el *flicker* es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión sobre las lámparas incandescentes y por su intermedio en el ojo humano. Se puede observar en la Fig. 2 el Flicker generado en la empresa en estudio.

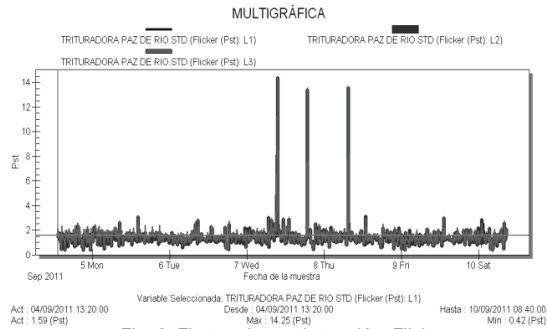


Fig. 2: Fluctuaciones de tensión, Flicker

Mide las variaciones de tensión causadas fundamentalmente por cargas tales como hornos de arco, acerías y otros equipos de gran consumo, que usualmente se traducen en la distorsión de la onda de tensión. El OR deberá garantizar que sus Usuarios cumplan con la norma IEEE-519 [1992] o la que la modifique o sustituya. Puede causar sensación de inestabilidad visual, irritabilidad y cansancio visual, variaciones de iluminación en bombillas incandescentes y bombillas de descarga, reducción de la vida útil de bombillas de descarga, entre otros.

Otra medida de las fluctuaciones de tensión llamada Plt (Perceptibilidad de larga duración) es a menudo empleada con el propósito de verificar la conformidad con los niveles de compatibilidad establecidos en los estándares y es usado para resolver controversias contractuales. Este valor es un promedio a más largo plazo de las muestras de Perceptibilidad de corta duración - Pst.

El Pst puede ser un indicador tanto para fluctuaciones de tensión (SAG, SWELL, etc.) como para parpadeo o "flicker". Además asigna mayor perceptibilidad a las subidas (SWELL) que a los hundimientos (SAG) para variaciones de igual magnitud relativa. También pondera de forma adecuada la perceptibilidad de eventos repetitivos en función de la severidad del evento. Finalmente, el Pst puede ser usado fácilmente para cuantificar el periodo de tiempo durante el cual los equipos son susceptibles de operar incorrectamente debido a fluctuaciones de tensión y parpadeo.

El concepto de análisis armónico viene del teorema matemático desarrollado por el Francés Jean Baptiste Joseph Fourier, donde se describe que toda función periódica puede ser representada por una serie infinita de funciones seno y coseno múltiples de la frecuencia fundamental, las cuales son llamadas series de Fourier, para los armónicos establece que cualquier función continua y periódica puede ser representada por la suma de una componente sinusoidal fundamental mas una serie de armónicos sinusoidales de orden superior con frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental.

Una función  $f(\theta)$  con período  $2\pi$  se representa en series de Fourier como se observa desde (2) hasta (5).

$$f(\theta) = \frac{I_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n * \text{Cos}n\theta + B_n * \text{Sen}n\theta) \quad (2)$$

Donde

$$A_0 = \frac{1}{\pi} * \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) * d\theta \quad (3)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} * \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) * \text{Cos}\theta * d\theta \quad (4)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} * \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) * \text{Sen}\theta * d\theta \quad (5)$$

En el caso de una función de tiempo  $f(t)$ , con período  $T$ , se obtiene (6):

$$\theta = \frac{2\pi}{T} * t = \omega t \quad (6)$$

Donde:

$$\omega = 2 * \pi / T = \text{Frecuencia\_Angular} \quad (7)$$

Considerando la serie de Fourier en función del tiempo, esta adopta las formas de (8) a (10):

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n * \text{Cos}n\omega t + B_n * \text{Sen}n\omega t) \quad (8)$$

Donde:

$$A_n = \frac{2}{T} * \int_{-T/2}^{T/2} f(t) * \text{Cos}n\omega t * dt \quad (9)$$

$n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

$$B_n = \frac{2}{T} * \int_{-T/2}^{T/2} f(t) * \text{Sen}n\omega t * dt \quad (10)$$

Esta ecuación puede ser escrita como en (11)

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n * \text{Cos}(n\omega t - \alpha) \quad (11)$$

Donde:

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (12)$$

$$\alpha = \text{arctg}(B_n / A_n) \quad (13)$$

$C_n$  representa la magnitud y a la fase del armónico  $n$ -ésimo de la función  $f(t)$ .

Una vez efectuada la descomposición armónica de una señal, se obtiene la magnitud y el ángulo de fase de cada uno de los armónicos que aparecen en la misma.

Con base en esta información se define el THD en (14):

$$\text{THD}(\%) = \sqrt{C_2^2 + C_3^2 + \dots + C_N^2} / C_1 * 100 \quad (14)$$

Donde:

$C_1$ : Magnitud de la componente de frecuencia fundamental.

$C_i$ : Magnitud de la componente armónica  $i$ -ésima.

Una vez determinado el THD para una señal de voltaje o corriente, se debe comparar su valor con los límites establecidos por la norma correspondiente. Esto con el fin de determinar si la distorsión se considera excesiva.

La corriente armónica distorsiona la tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando fallas en condensadores, transformadores, conductores neutros, motores, operación errática de relés, etc. Los armónicos característicos (ver Fig. 3) son aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. En un convertidor de 6 pulsos, los armónicos característicos son: 5, 7, 11, 13, etc.

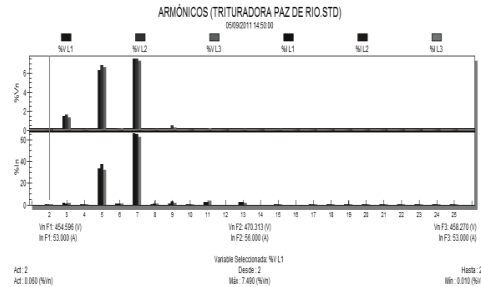


Fig. 3: Armónicos de tensión y corriente

En las *Distorsiones Armónicas*, los perfiles de Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés) en tensión y corriente para cada uno de los puntos de medición. El THD es una medida del contenido de armónicos en una señal de tensión o corriente respecto de la señal a 60 Hz o fundamental [4].

La distorsión armónica en la tensión – THDV es ocasionada principalmente por la demanda de corrientes no lineales por la carga. Sin embargo, en algunas ocasiones la tensión de suministro puede ser distorsionada por cargas externas alimentadas por el mismo sistema, lo cual origina que las cargas lineales demanden corrientes armónicas.

El contenido de ondas con frecuencias que son múltiplos de la frecuencia normal de suministro (60 Hz) y son el resultado de cargas no lineales en el Sistema de Transmisión Regional – STR y/o Sistema de Transmisión Local - SDL. Tanto el Operador de Red - OR como los Usuarios conectados a su red deberán cumplir con la norma IEEE 519 - [1992] y NTC 5001 del 2008.

La evaluación de la *distorsión armónica total de corriente* – THDI, se realiza determinando el impacto que tiene la distorsión en corriente que inyecta la planta en el sistema eléctrico al cual se encuentra conectada. Para realizar dicha evaluación se calcula un parámetro adicional llamado TDD como se ve en la tabla 3.

### III. RESULTADOS

Para la ejecución de la medición se utilizó un equipo analizador de calidad de potencia marca CIRCUTOR QNA-412, con certificado de calibración 8646 del laboratorio CIRCUTOR de España, de propiedad de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. Este es un instrumento de medida programable, diseñado para el control de la calidad de suministro eléctrico.

El equipo permite medir todos los parámetros de interés en un circuito eléctrico, tales como tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencias (aparente, activa y reactiva), energías consumidas, entre otros. Cuenta con un sistema de memoria que permite el manejo y almacenamiento de la información para luego ser transmitida a un computador personal para su procesamiento y análisis.

#### A. Análisis del factor de potencia.

La potencia reactiva que debe suministrar el filtro debe garantizar que el factor de potencia ponderado durante un periodo sea superior a 0.9.

Debido a la alta fluctuación que presentan las cargas, no es práctico compensar el factor de potencia para todas las condiciones de la carga, se diseñara un filtro que mejore el factor de potencia disminuyendo la carga reactiva y así mejorando el factor de potencia, el banco de condensadores

se sintoniza a los armónicos 5°, 7°, 11° y 13°, lo que reduce las distorsiones armónicas

De acuerdo a los resultados encontrados, la desviación estacionaria de la tensión NO se encuentra dentro de los límites establecidos por la Resolución CREG 024 de 2005, por lo cual se considera inadecuado para el correcto funcionamiento de las cargas.

La Tabla 1 presenta los valores máximos, mínimos y promedios de los desbalances entre tensiones de fase y los desbalances entre las corrientes de cada fase evaluados en el Punto de Acople Común - PCC.

Tabla 1  
Valores Máximos, Promedio y Mínimos de los Desbalances.

Punto de Medición	Tensiones (%)				Criterio	Corrientes (%)			
	Max	Prom	Min	Limite		Max	Prom	Min	Limite
PCC	0.66	0.26	0.08	1	Cumple	7.4	8.35	0.76	N.A
TRITURADOR PRINCIPAL	0.76	0.25	0.05	1	Cumple	5.1	3.50	2.10	N.A
TRITURADOR SECUNDARIO	0.66	0.25	0.05	1	Cumple	8.5	3.68	2.16	N.A

Como se observa en la Tabla 1, los desbalances de tensión permanecen por debajo del valor límite recomendado del 1% según el estándar IEEE 1159 - 1995. De otra parte, los desbalances de corriente presentan valores máximos por encima del 5% los cuales se podrían considerar normales, puesto que no generan desbalances elevados de tensión. Hay que recordar que no existen valores límites para este parámetro, por lo cual la evaluación de los mismos se realiza de forma indirecta mediante la evaluación de su influencia sobre los desbalances de tensión.

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la forma de onda de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la misma, cuyas magnitudes normalmente no exceden los rangos determinados para las desviaciones estacionarias de  $\pm 10\%$ .

Los valores de la tabla 2 exceden los valores establecidos en la norma NTC 5001 - 2008, por esta causa se presentan muchas fluctuaciones de tensión debido a las cargas conectadas como son los motores del triturador 1 y triturador 2, y a que el banco de condensadores existente en la trituradora cuando los motores no están en funcionamiento este queda conectado lo que ocasiona resonancia y aumenta la presencia armónica y eleva la tensión [5], [6], [7], [8].

El análisis del factor de potencia de un sistema eléctrico industrial está relacionado con la eficiencia del mismo. Normalmente el interés se fija en el análisis del factor de potencia global porque genera sobrecostos en la facturación de energía. Según la Resolución CREG 082 de 2002, en caso de que la energía reactiva consumida por un usuario sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) que le es entregada en cada periodo horario, el exceso sobre este límite en cada periodo se considerará como energía activa para efectos de liquidar mensualmente el cargo por uso del respectivo sistema.

Lo anterior quiere decir que cuando se mantiene un factor de potencia igual a 0,9 por unidad de tipo inductivo, el consumo de energía reactiva es equivalente al 50% de la energía activa, y se empezaría a penalizar el consumo adicional de reactivos en el momento en que el factor de potencia alcance valores inferiores a 0,9 inductivo. Por lo tanto, se recomienda mantener el factor de potencia de la

instalación por encima de 0,9 por unidad de tipo inductivo y así evitar sobrecostos en la facturación.

De otro lado, una excesiva compensación reactiva por medio de capacitores también generará susceptibilidad del sistema a los armónicos y a los transitorios. El análisis del factor de potencia global permite llegar a observaciones de este tipo [9].

En las mediciones realizadas sobre valores máximos, promedios y mínimos de potencia activa, inductiva y reactiva, se observó que la potencia reactiva es elevada debido que el banco de condensadores existente no es el adecuado para el buen funcionamiento de la trituradora, por lo que está ocasionando consumos excesivos y sobrecostos en el valor de la factura de energía.

En la tabla 2 se registran los valores máximos, promedios y mínimos de la *distorsión armónica total en tensión* registrados en el PCC en la Trituradora y los motores principal y secundario.

Tabla 2  
Máximos, Promedios y Mínimos de THD en Tensión

Punto de Medición	Max	Prom.	Min	Límite IEEE 519 (%)	Criterio
PCC	17.0	7.67	0.57	5	No Cumple
TRITURADOR PRINCIPAL	23.64	11.67	3.42	5	No Cumple
TRITURADOR SECUNDARIO	24.43	11.75	3.56	5	No Cumple

La distorsión armónica máxima registrada en el PCC fue de 17% y según la norma IEE 519 el valor máximo es del 5%. Los datos registrados en un 95% fueron inferiores e iguales a 12.5% por lo que se evidencia que la distorsión armónica en tensión esta fuera de la norma. Igualmente sucede con los registros tomados en los trituradores principal y secundario.

Esto se presenta debido a que el banco de condensadores existente no es el adecuado para las cargas que tiene la trituradora de piedra.

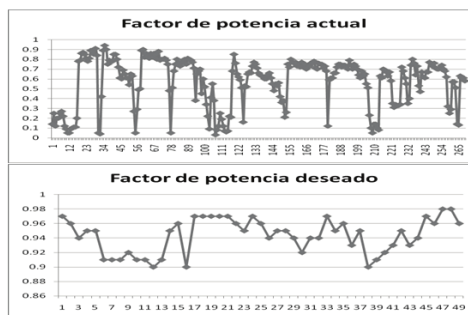


Fig. 4: Factor de potencia actual y deseado

Como se muestra en la Fig. 4, el factor de potencia actual está muy bajo de 0.9, comparado con el factor de potencia deseado; en la Fig. 6 se muestra el filtro activo que se requiere para que se mejore las condiciones de operación de la trituradora y que se ajuste a la carga.

La evaluación de la distorsión total a la demanda se puede observar en la tabla 3. Con base en estos resultados se realizan los cálculos representados en la tabla 4, diseñada por los autores a partir de las ecuaciones encontradas en [10].

Tabla 3  
Evaluación de la distorsión total a la demanda (TDD) en corriente

Punto de Medición	Orden del Armónico	Magnitud armónico (% I <sub>L</sub> )	Límite IEEE 519 (%)	Observaciones
TRITURADORA	2	6	10	CUMPLE
	3	9.91	10	CUMPLE
	4	2.46	10	CUMPLE
	5	75.75	10	NO CUMPLE
	6	8.99	10	CUMPLE
	7	98.79	10	NO CUMPLE
	8	2.27	10	CUMPLE
	9	4.24	10	CUMPLE
	10	2.25	10	CUMPLE
	11	7.28	4.5	NO CUMPLE
	12	1.65	4.5	CUMPLE
	13	5.65	4.5	NO CUMPLE
	14	0.63	4.5	CUMPLE
	15	1.63	4.5	CUMPLE
	16	0.78	4.5	CUMPLE
	17	4.15	4.5	CUMPLE
	TDD = 12.50			12

Tabla 4  
Cálculo para corregir el factor de potencia en 480V

Simbología	Significado	Valores
Pa	Potencia Activa [WK]:	112,50
U	Tesion [V]:	480
Cos φ	Cos φ actual:	0,50
Cos φ	Cos φ deseado:	0,95
K	Coefficiente [K]:	0,10
Qc	Potencia del capacitor [KVar]:	11,25
Xc	Reactancia Capacitiva [Ω]:	20,48
C	Capacidad en [μf]:	155,50

Corriente de capacitor	Tension 480 [V]
I <sub>g</sub>	Corriente del Capacitor [A]
	17,11

Proteccion Fusibles GL	
C <sub>p</sub>	Calibre de proteccion [A]
	24,47

Disminucion de la corriente	
I <sub>n</sub>	Sin Capacitor
	342,26
I <sub>n</sub>	Con Capacitor
	180,14

Considerando que el cálculo un banco de capacitores es de 11.25 kVAR a 480 V, se calculará el tamaño de la inductancia para que el banco pueda operar como un filtro de magnitud 98.79 en la 7<sup>a</sup> armónica.

Cuando se coloca un filtro único, tal como un filtro de la 7 armónica (5927 Hz), para reducir la séptima armónica (420 Hz), el filtro también reduce las corrientes armónicas de la 5a, 11a y 13a. Solo que hay que cuidar que los alimentadores estén calculados y tengan las protecciones adecuadas para soportar las corrientes armónicas. En la (15) hasta la (18) se calcula el filtro activo para corregir los armónicos.

Para el cálculo de armónicos se utilizan (15), (16) y (17)

$$h^2 = X_C / X_L \quad (15)$$

$$X_C = V^2 / VAR \quad (16)$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (17)$$

Donde:

H = Armónica

XC = Reactancia capacitiva del filtro

XL = Reactancia inductiva del filtro

V = Voltaje nominal en volts del banco de capacitores

Var = Capacidad en VAR del banco de capacitores

π = 3,1416

f = Frecuencia en Hz de la onda fundamental [60]

L = Inductancia en Henrios.

Combinando 15 y 17 y despejando L, queda (18):

$$L = V^2 / (h^2 * VAR * 2 * \pi * f) \quad (18)$$

Para la 7<sup>a</sup> armónica

$$L = (480)^2 / ((98.79)^2 * 11.25kVAR * 2 * 3.1416 * 60)$$

$$L = 5.56 \text{ miliHenrios.}$$

### B. Diseño del filtro para armónicos

El analizador de red marca CIRCUTOR QNA-412 con certificado de calibración 8646 del laboratorio CIRCUTOR de España, de propiedad de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. es un instrumento de medida programable, por lo que ofrece una serie de posibilidades de empleo, y se puede seleccionar los menús de programación, es un equipo diseñado para el control de la calidad de suministro eléctrico. Permite obtener un perfil de potencia reactiva consumida durante un día o una semana de funcionamiento normal de una determinada instalación.

La corrección del factor de potencia y mitigación e los armónicos mejora la regulación de tensión en toda la planta y evita sobrecostos en la facturación del consumo de energía reactiva.

La reducción de armónicos permite llevar a niveles de carga en transformadores a valores muy cercanos a su capacidad nominal, sin reducir la vida útil de los equipos, y elimina los problemas originados por estas señales en el resto de las cargas.

Como se observa en la tabla 3 la distorsión armónica se presenta debido a las cargas conectadas en la trituradora y a que el banco de condensadores existente no es el adecuado, ya que cuando todos los motores no están en funcionamiento queda conectado, lo que genera resonancia y aumenta la presencia armónica.

Como se observa en las graficas de la Fig. 5, la potencia reactiva es elevada debido a las cargas conectadas como son los motores de gran potencia, y también a que no se tiene un banco de condensadores adecuado para el funcionamiento de la trituradora.

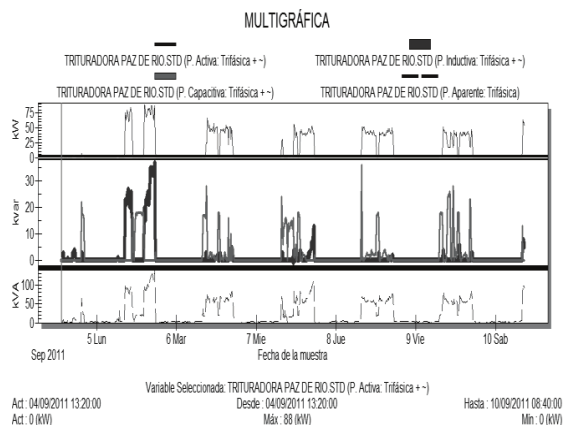


Fig. 5: Variación de la potencia en una semana

El circuito filtro activo a implementar para corregir los armónicos se puede observar en la Fig. 6.

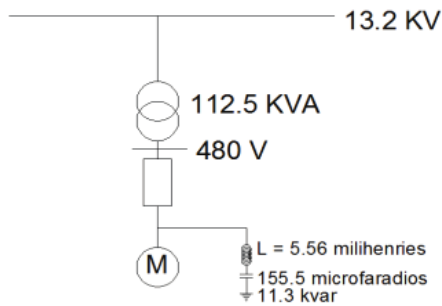


Fig. 6: Filtro activo sintonizado a implementar

### III. CONCLUSIONES

Se puede observar una variación considerable en el factor de potencia por fuera del rango permitido, comparada con la curva ideal; por lo cual se puede intuir un mal funcionamiento en alguno de los motores de potencia, lo cual sugiere además de la implementación de un filtro corrector de armónicos, una revisión de los motores.

El mal funcionamiento de los motores genera fluctuaciones de tensión o *flicker* que resulta molesto para el ojo humano, además de generar los llamados armónicos, que afectan la red y las demás máquinas de la empresa, viéndose afectada la *Calidad de la Energía*.

El *filtro activo* diseñado minimiza los armónicos 5, 7, 11 y 13, los cuales de acuerdo al estudio son los que mayor incidencia tienen en la afectación del sistema.

Con el diseño de un *filtro activo* representado mediante un banco de condensadores, con una capacitancia de 155.5 $\mu$ F (microfaradios) se mejora el factor de potencia a un valor sobre 0.9, por lo que la trituradora aumenta su rendimiento, reflejándose de alguna manera en el costo de producción.

### REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, *Normas de calidad de la potencia eléctrica*, Resolución CREG 024, Bogotá, 2005.
- [2] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, *Norma Técnica Colombiana NTC - 2050*, Bogotá D.C., 1995.
- [3] Ministerio de Minas y Energía, *RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*, Bogotá D.C., 2008.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE 519, 1992.
- [5] J. Balcells Sendera, *Calidad y Uso Racional de La Energía Eléctrica*, 2006.  
R. Ortiz Tamayo, *Evaluación de Calidad de la Potencia Eléctrica (CPE) ante eventos de corta duración en un sistema de Distribución*, en línea, tomado en 2011 de: [http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca\\_virtual/documents/evaluacion\\_calidad\\_potencia\\_electrica.pdf](http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/evaluacion_calidad_potencia_electrica.pdf), Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2006.
- [6] Congreso de la República de Colombia, *Ley 142 de 1994*, Bogotá D.C., 1994.
- [7] Congreso de la República de Colombia, *Ley 143 de 1994*, Bogotá D.C., 1994.

[8] Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación, *Calidad de la Potencia Eléctrica*, NTC 5001, Bogotá D.C, 2004.

[9] A. Abreu, *Calidad de Potencia Eléctrica en Redes de Distribución*, 2005.

[10] J. Edministry M. Nahvi, *Circuitos Eléctricos*, Madrid: McGraw-Hill, 1997.