



Caracterización Energética y Plan de Mejoramiento en el Sistema Eléctrico del Clinker L2 de la Planta Cementos del Oriente Sede Sogamoso

Carlos Fernando Alfonso Ballesteros

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ciudad, Colombia
Año
2020

Caracterización Energética y Plan de Mejoramiento en el Sistema Eléctrico del Clinker L2 de la Planta Cementos del Oriente Sede Sogamoso

Carlos Fernando Alfonso Ballesteros

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico.

Director:

Ing. Juan David Rivera Niquepa. MSc.

Línea de Investigación:

Gestión Energética.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

Año

2020

Dedicatoria.

Agradezco primeramente a Dios por permitirme concluir una meta más, guiarme en todos los caminos y mantener mi familia unida.

A mis padres quienes siempre estuvieron dándome ese apoyo incondicional, por creer en todo proyecto que emprendo y esas voces de aliento en todos los momentos difíciles, por ser mis amigos, gracias por sus consejos y ser ejemplos de vida.

A mi hermano gracias por su apoyo y acompañarme en este proceso.

A mis compañeros de universidad y docentes que estuvieron en este largo proceso de carrera, quienes conocieron las dificultades para terminar.

A mis compañeros y colaboradores de trabajo, quienes me aportaron con su conocimiento y ayuda para el desarrollo del trabajo.

Resumen

El siguiente proyecto tiene como finalidad la caracterización energética eléctrica en la fabricación de Clinker I2, un proceso de cementos del oriente sede Sogamoso, este se encuentra dividido en cuatro áreas, molienda de crudo, homogenización, clinkerización, molienda de carbón presentes en la línea 2, durante la operación normal de este proceso se presentaban problemas que generaban paros en estas áreas, se identificó que estos eran generados por disparos de protecciones de motores, disparo de totalizadores y daños en motores eléctricos, calentamiento de conductores en las áreas antes mencionadas.

Se propuso analizar la calidad de energía actualizando la versión de medidores, software y condiciones de los equipos presentes en las áreas mencionadas, dando paso a criterios en la potencia reactiva y factor de potencia; para llegar a una mejora continua en los valores de confiabilidad, seguimiento y detección de armónicos.

Se determinó la gestión en la selección eficaz de los medidores gracias a la versatilidad de los mismos este nos llevó a obtener una mayor capacidad de análisis en las variables eléctricas, por consiguiente, el software tiene una compatibilidad dinámica en su interfaz haciéndola muy amigable y fácil en su configuración; por otra parte, los datos obtenidos en el levantamiento de los equipos nos dieron una parametrización de operación, a consecuencia se logró unos análisis más detallados en el desempeño de bancos de condensadores para confrontar los resultados finales con el proceso que se venía desempeñando.

Palabras clave: Energía activa, energía reactiva, factor de potencia, armónicos eficiencia Energética, calidad de energía.

Abstract

The following project aims to characterize electrical energy in the manufacture of Clinker I2, a cement process from the eastern Sogamoso headquarters, which is divided into four areas: crude milling, homogenization, clinkerization, and coal grinding present on line 2. During the normal operation of this process, there were problems that generated stoppages in these areas, it was identified that these were generated by trips of motor protections, trip of totalizers and damage to electric motors, heating of conductors in the aforementioned areas.

It was proposed to analyze the energy quality by updating the version of meters, software and equipment conditions present in the mentioned areas, giving way to criteria in reactive power and power factor; to reach a continuous improvement in the values of reliability, monitoring and detection of harmonics.

The management in the effective selection of the meters was determined thanks to their versatility. This led us to obtain a greater analysis capacity in the electrical variables, therefore, the software has a dynamic compatibility in its interface, making it very friendly and easy in its configuration; On the other hand, the data obtained in the equipment survey gave us an operation parameterization, as a consequence, more detailed analyzes of the performance of capacitor banks were achieved to confront the final results with the process that was being carried out.

Key words: Active energy, reactive energy, power factor, harmonic Energy efficiency, energy quality.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Capítulo 1: Marco teórico	1
1.1 Descripción de la empresa Cementos del Oriente	1
1.2 Descripción del proceso de producción del cemento	1
1.3 Eficiencia energética	9
1.4 Calidad de energía	10
1.5 Armónicos	10
1.6 Normatividad en armónicos	16
1.7 Corrección de armónicos	17
1.8 Naturaleza de la Energía reactiva	18
1.9 Factor de potencia	19
1.10 Corrección Factor de potencia	20
2. Capítulo 2: Desarrollo metodológico	21
2.1 Descripción eléctrica de la planta	21
2.2 Selección del área de estudio	23
2.3 Descripción de Clinker L2	23
2.4 Revisión histórica de consumo de energía de la planta Cementos Oriente	25
2.5 Consolidación de un censo de cargas	27
2.6 Estudio de análisis de armónicos en la zona Clinker Línea 2	28
2.7 Estudio de factor de potencia en la zona Clinker Línea 2	33
3. Resultados y análisis	35
3.1 Análisis de cargas por áreas	35
3.2 Análisis por áreas con bancos y sin bancos de condensadores	36
3.3 Área carbón línea 2	36
3.3.1 Operación sin banco de condensadores	37
3.3.2 Operación con banco de condensadores	40
3.4 Área Homogenización	43
3.4.1 Sin banco de condensadores	44
3.4.2 Con banco de condensadores	46
3.5 Área Clinkerización	51
3.5.1 Sin banco de condensadores	51
3.5.2 Con banco de condensadores	54
3.6 Área Crudo	59
3.6.1 Sin bancos de condensadores	59
3.6.2 Con bancos de condensadores	62
4. Conclusiones y recomendaciones	67
4.1 Conclusiones	67
4.2 Recomendaciones	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Proceso de fabricación del cemento.	3
Figura 1-2: Distribución Eléctrica Clinker L2.	4
Figura 1-3: Vista Isométrica molienda de crudo.	5
Figura 1-4: Vista isométrica silo de harina homogenización.	6
Figura 1-5: Vista isométrica torre y horno clinkerización.	7
Figura 1-6: Vista isométrica molino carbón línea 2.	8
Figura 1-7: Onda trifásica fundamental ideal.	11
Figura 1-8: Afectación onda fundamental con 3 armónico en 10%.	12
Figura 1-9: Afectación de la onda fundamental con 4 armónico en 10%.	12
Figura 1-10: Afectación de la onda fundamental con 5 armónico en 10%.	13
Figura 1-11: Afectación de la onda fundamental por 3, 5, 7 y 9 armónico en 40%.	13
Figura 1-12: Espectro armónico en el dominio del tiempo.	14
Figura 1-13: Espectro en el dominio de la frecuencia.	15
Figura 1-14: Representación vectorial del factor de potencia distorsionante.	15
Figura 1-15: Calculo del factor de potencia distorsionante.	16
Figura 1-16: Limites de Tensión THD IEEE 519.	17
Figura 1-17: Diagrama vectorial de potencias.	18
Figura 1-18: Triangulo de potencias.	20
Figura 1-19: Carga resistiva, Carga inductiva, Carga capacitiva.	20
Figura 2-1: Diagrama general unifilar planta.	22
Figura 2-2: Pareto Consumo por áreas Cementos del Oriente.	23
Figura 2-3: Diagrama unifilar Clinker L2.	24
Figura 2-4: Histórico consumos energía activa y reactiva año 2019.	25
Figura 2-5: Tendencia datos de producción, consumo de energía.	27
Figura 2-6: Equipo Fluke 434.	28
Figura 2-7: Propuesta puntos de medición línea 2.	29
Figura 2-8: Diagrama de conexiones para equipos SENTRON PAC 4200.	30
Figura 2-9: Espectro de armónicos Carbón Línea 2.	31
Figura 2-10: THD en tensión.	32
Figura 2-11: THD en corriente.	32
Figura 2-12: Ejemplo de curva de tendencia de factor de potencia.	33
Figura 2-13: Regulador de energía reactiva.	34
Figura 3-1: Potencia activa carbón I2.	37
Figura 3-2: THD en tensión sin banco de condensadores carbón I2.	37
Figura 3-3: Factor de potencia sin banco de condensadores carbón I2.	38
Figura 3-4: THD en corriente sin banco de condensadores carbón I2.	39
Figura 3-5: Energía reactiva sin banco de condensadores carbón I2.	39
Figura 3-6: THD en tensión con banco de condensadores carbón I2.	40
Figura 3-7: Factor de potencia con banco de condensadores carbón I2.	41
Figura 3-8: Espectro armónico de corriente con banco de condensadores carbón I2.	42

Figura 3-9: THD en corriente con banco de condensadores carbón I2.....	42
Figura 3-10: Energía reactiva con banco de condensadores carbón I2.	43
Figura 3-11: Potencia activa homogenización I2.	44
Figura 3-12: THD en tensión sin banco de condensadores homogenización I2.....	44
Figura 3-13: Factor de potencia sin banco de condensadores homogenización I2.	45
Figura 3-14: THD en corriente sin banco de condensadores homogenización.	45
Figura 3-15: Energía reactiva sin banco de condensadores homogenización.	46
Figura 3-16: THD en tensión con banco de condensadores homogenización.	47
Figura 3-17: Factor de potencia con banco de condensadores homogenización.	48
Figura 3-18: Espectro armónico de corriente homogenización.	49
Figura 3-19: THD en corriente con banco de condensadores homogenización.	49
Figura 3-20: Energía reactiva con banco de condensadores homogenización.	50
Figura 3-21: Potencia activa Clinkerización I2.	51
Figura 3-22: THD en tensión sin banco de condensadores clinkerización I2.	52
Figura 3-23: Factor de potencia sin banco de condensadores clinkerización I2.....	52
Figura 3-24: THD en corriente sin banco de condensadores.	53
Figura 3-25: Energía reactiva sin banco de condensadores clinkerización I2.	53
Figura 3-27: THD en tensión con banco de condensadores clinkerización I2.	55
Figura 3-28: Factor de potencia con banco de condensadores clinkerización I2.	56
Figura 3-29: Espectro armónico de corriente con condensadores clinkerización I2.	57
Figura 3-30: THD en corriente con banco de condensadores clinkerización I2.	57
Figura 3-31: Energía reactiva con banco de condensadores clinkerización I2.	58
Figura 3-32: Energía activa Crudo I2.	59
Figura 3-33: THD en tensión sin banco de condensadores crudo I2.	60
Figura 3-34: Factor de potencia sin banco de condensadores crudo I2.	60
Figura 3-35: THD en corriente sin banco de condensadores crudo I2.	61
Figura 3-36: Energía reactiva sin banco de condensadores crudo I2.	62
Figura 3-37: THD en tensión con banco de condensadores crudo I2.	63
Figura 3-38: Espectro armonico de corriente con banco de condensadores de Crudo I2.	64
Figura 3-39: Factor de potencia con banco de condensadores crudo I2.	65
Figura 3-40: THD en corriente con banco de condensadores crudo I2.....	66
Figura 3-41: Energía reactiva con banco de condensadores crudo I2.	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Normativa de armónicos IEEE 519.	16
Tabla 2-1: Correlación consumo de energía vs producción Ton.	26
Tabla 2-3: Calculo banco de condensadores.	34
Tabla 3-1: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.	40
Tabla 3-2: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.	47
Tabla 3-3: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.	55
Tabla 3-4: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.	63

Introducción

Cementos del Oriente es una empresa productora y comercializadora en uno de los sectores más competidos del mercado constructor; el cemento es uno de los productos con mayor demanda el cual contribuye al desarrollo de un país, por consiguiente, siempre se considera la implementación de estudios y propuestas sobre diferentes factores energéticos entre ellos consumos, calidad y operatividad; siempre con el concepto de la mejora continua en la reducción de emisiones de gases; por lo tanto el reto constante es ser competitivo en el mercado para esto se configura este proyecto que toma como prioridad el área eléctrica la cual está definida en la fabricación de Clinker línea 2

Especificar el lineamiento eléctrico en la fabricación de Clinker, nos permite llegar entender su proceso productivo y tener un enfoque colectivo en la industria, así como tomar decisiones y crear estrategias para su mejora continua. Estudiar la calidad de energía y seguir lineamientos de eficiencia energética son dos estrategias que nos permite encontrar desviaciones que generen gastos inadecuados en el proceso, una mala calidad de energía donde se altere sus factores primordiales tales como: voltaje, corriente y frecuencia, generan daños en los equipos y estos a su vez sobrecostos al mantenimiento y producción; conocer sus consumos por áreas, sus formas de operación permite, radicar en un seguimiento claro que se basa en planes y estrategias documentadas en tablas, indicadores y rendimientos establecidos por la planta para definir una propuesta de eficiencia; contemplando estas variables, se propone a la empresa una inversión en la instalación de una alternativa veraz que abarque las necesidades en pro de la mejora, adquiriendo nuevos equipos de medición y la implementación de un software de monitorio de consumos constante, esta propuesta se realiza para la fabricación de Clinker línea 2.

Objetivo General

Caracterizar energéticamente el sistema eléctrico para Clinker línea 2 de la planta Cementos del Oriente sede Sogamoso y proponer un plan de mejoramiento en eficiencia energética.

Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de la Instalación eléctrica y caracterizando los tipos de carga los consumos en Clinker línea 2.
- Ejecutar un análisis de contenido de armónicos en la instalación eléctrica enfocado en la zona de Clinker línea 2 en la cual ofrezca procesos eficientes de acuerdo con la normatividad seguida por la norma IEEE 519.
- Caracterizar el consumo de potencia reactiva y el factor de potencia en los circuitos de la zona Clinker línea 2 seguido de la normatividad IEEE 1459 de 2010.
- Plantear alternativas para el mejoramiento en consumo de energía en el proceso productivo de la zona de Clinker línea 2.

1. Capítulo 1: Marco teórico

1.1 Descripción de la empresa Cementos del Oriente

Cementos del Oriente sede Sogamoso, forma parte de una de las 5 cementeras ubicadas en la Provincia de Sugamuxi - Boyacá, se constituye como empresa en año 2003, como meta principal se ha proyectado en seguir creciendo; ya que el año 2012 se realizó una importante ampliación en la instalación con una segunda línea de producción, para esto se conforman dos líneas de fabricación de Clinker y dos molinos de cemento, dando paso al crecimiento constante, también impone su marca en el Atlántico, implementando una sede en la fabricación de cemento en Sabanagrande; lo antes mencionado da como resultado lograr posicionarse en el mercado y seguir solventando la demanda cambiante.

La planta está ubicada en la zona industrial de Sogamoso, en la actualidad la energía eléctrica utilizada es suministrada por la generadora Colombina de Energía del pacifico (EPSA), por ende, se cumple con las normatividades eléctricas y por normativa de la (CREG) se encuentra registrada como empresa no regulada eléctricamente por superar los valores máximos de consumo eléctrico mensual.

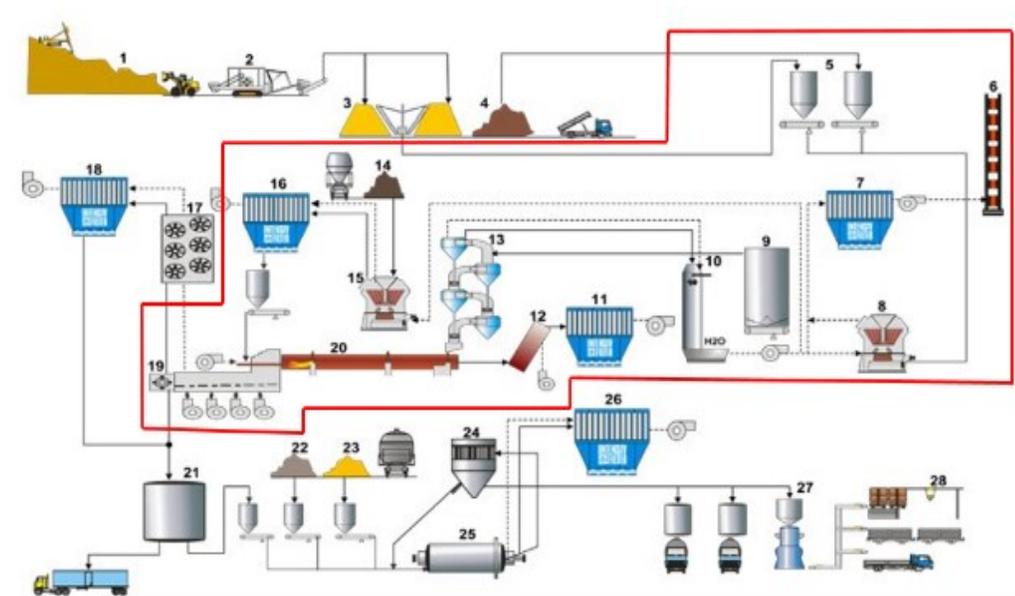
1.2 Descripción del proceso de producción del cemento

El proceso de fabricación del cemento, se coordina por 28 etapas vigentes en cualquier procedimiento: etapa (1) corresponde a la extracción de la materia prima y la más importante es la piedra caliza, identificando mineral de hierro y otras calizas con diferentes propiedades; etapa (2) ingresar por una máquina trituradora para reducir su granulometría, poder ser transportada y almacenada según su clasificación en los patios determinados

para este fin; etapa (3) la caliza se mezcla pasando por pre-homogenización donde se hace la combinación en proporciones específicas con otras calizas de diferentes propiedades determinadas por el laboratorio; etapa (4) también se almacenan en patio las diferentes materias primas como mineral de hierro, entre otras; etapa (5) estas materias primas son almacenadas en silos para dosificar en proporciones definidas condiciones establecidas en laboratorio; etapa (6) por consiguiente el proceso requiere transportar material molido con grandes caudales de aire (succión) las pérdidas sin dispuestas por una chimenea; etapa (7) se encuentra el filtro de harina cruda que se encarga de recibir el material molido y separarlo de la corriente de aire para poder almacenarlo; etapa (8) se encuentra el molino de crudo, el cual se encarga de convertir reducir la granulometría en para obtener una partículas finas y mezclar la materia prima dosificada; etapa (9) después la harina de crudo es transportada y almacenada en un silo donde se unifica y homogeniza; etapa (10) se encuentra el intercambiador de calor de la torre precalentadora, el cual permite recuperar aire caliente del proceso para ser reutilizado en la etapa de molienda de crudo; etapa (11) corresponde al filtro recolector finos horno de Clinker; la etapa 12 corresponde al transporte de finos de Clinker; etapa (13) corresponde a la torre precalentadora, la cual se encarga de hacer un incremento de calor a la harina de crudo para poder llegar a un proceso químico que solo se logra a grandes temperaturas; etapa (14) se encuentra la materia prima carbón triturado; etapa (15) corresponde al molino de carbón, para lograr obtener Clinker y tener una mayor eficiencia en el horno se pulveriza el carbón para lograr altas temperaturas; etapa (16) se encuentra el filtro de carbón en donde se recolecta el carbón pulverizado para ser transportado y almacenado para su dosificación al horno; etapa (17) corresponde al intercambiador de calor; etapa (18) se encuentra el filtro recolector para evitar polución y contaminación de Clinker; etapa (19) se encuentra el enfriador rotativo para garantizar la calidad del Clinker; etapa (20) se requiere que el horno alcance una temperatura de 1500°C para que el material tenga reacciones químicas y se solidifique en partículas redondas conocidas como Clinker horno de 40 m de longitud; etapa (21) corresponde al almacenamiento de Clinker; etapa (22) se necesita almacenar materia prima como Yeso que le ayuda al fraguado para la fabricación de cemento; etapa (23) se necesita almacenar también calizas u otros aditivos para la fabricación de cemento; etapa (24) el separador dinámico tiene como función ajustar la calidad y finura del cemento, en este proceso se recircula las partículas más gruesas y se

vuelven a moler; etapa (25) el molino pulveriza y deja homogéneo el cemento; etapa (26) el filtro de cemento se encarga de recolectar el cemento pulverizado para su transporte y almacenamiento; etapa (27) se encuentra almacenamiento y empaque, acá se sacan las diferentes presentaciones del cemento que se dispone en el mercado como 50 Kg y 42.5 Kg; etapa (28) se encuentra la bodega y despacho, en estas se almacena el producto terminado y se despacha a su destino final. La figura (1-1) identifica las etapas antes mencionadas.

Figura 1-1: Proceso de fabricación del cemento.



Fuente: <http://www.chaeng.co/chaeng-news/20.html>.

En el desarrollo de este proyecto se hizo énfasis en la caracterización energética eléctrica, del área demarcada en rojo como se ve en la figura 1-1, la cual hace referencia a la fabricación de Clinker Línea 2, este se seleccionó debido a que esta área presenta mayor consumo energético eléctrico.

En la parte eléctrica, la fabricación de Clinker línea 2 se encuentra distribuida en 4 áreas divididos en dos grupos por dos interruptores generales y cada área cuenta con su totalizador general, tal cual se muestra en la figura 1-2; en el interruptor 1 se encuentra:

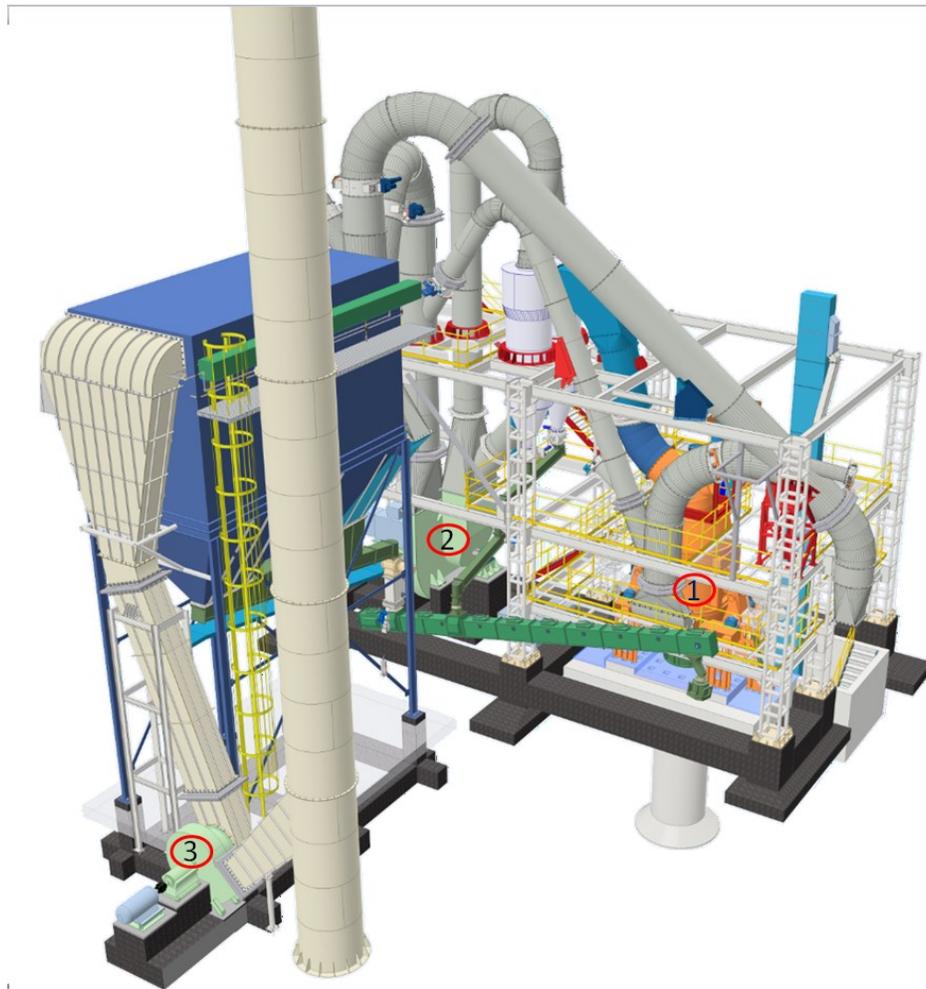
Área de crudo y homogenización; en el interruptor 2 se encuentra: Área de clinkerización y carbón.

Figura 1-2: Distribución Eléctrica Clinker L2.



Fuente: Autor, planta Sogamoso.

En la figura 1-3 se identifica los principales equipos del área de molienda de crudo de mayor consumo, con el número (1) el motor molino de crudo, con el número (2) ventilador molino de crudo y con el número (3) ventilador descarga de filtro y compresor Kaeser se encuentra ubicado en un cuarto protegido de polución, los demás equipos son de menor tamaño.

Figura 1-3: Vista Isométrica molienda de crudo.

Fuente: Base de datos Dpto. Proyectos, Cementos del Oriente planta Sogamoso.

En la figura 1-4 el área de transporte y homogenización de harina de crudo, podemos destacar los motores que trabajan como sopladores, los cuales ayudan a transportar la harina de crudo inyectando cantidades de aire previamente diseñados, también ayuda a mantener en movimiento la harina dentro del silo para que no se forman pegas y la harina pueda fluir sin mayores restricciones, entre otros equipos también destacan elevadores de cangilones y transportadores de cadena.

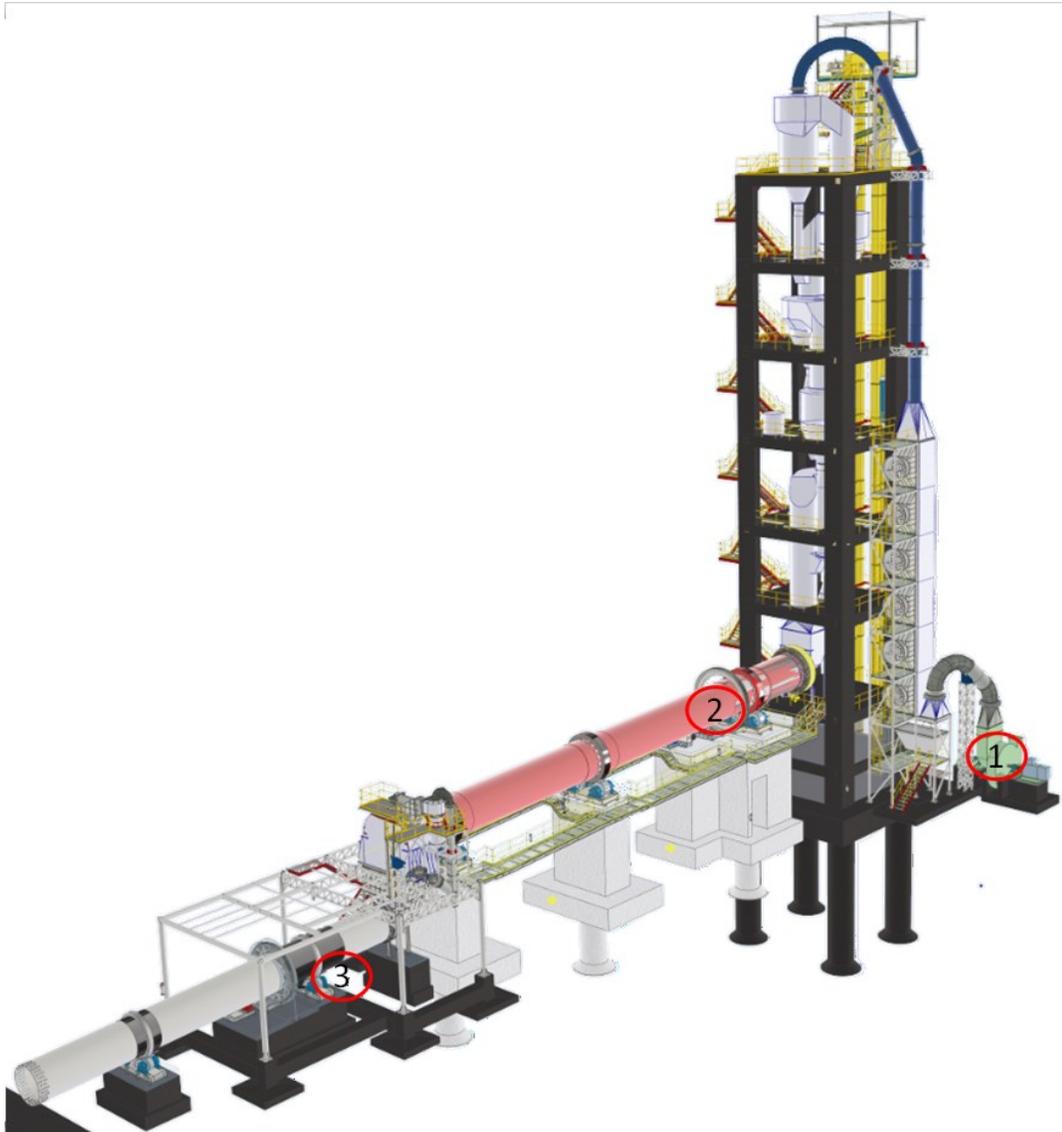
Figura 1-4: Vista isométrica silo de harina homogenización.



Fuente: Base de datos Dpto. Proyectos, Cementos del Oriente planta Sogamoso.

En la figura 1-5 se identifica el área de clinkerización donde destaca, con el número (1) el motor ventilador tiro del horno, con número (2) motor giro horno, con el número (3) motor giro enfriador adicional las bombas hidráulicas que permite el desplazamiento axial del horno.

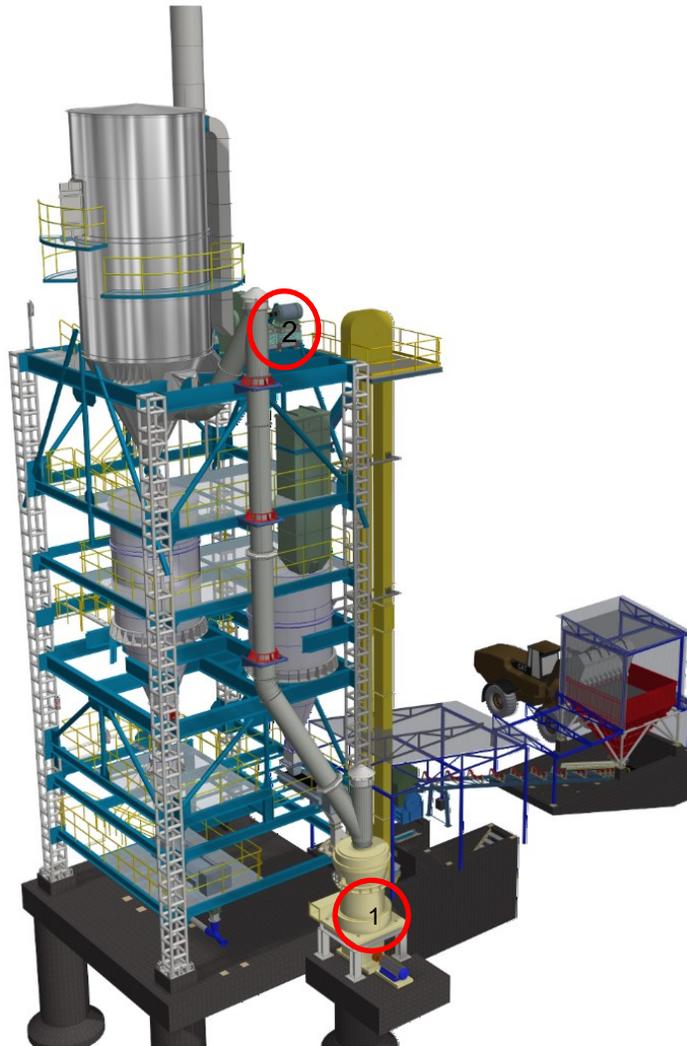
Figura 1-5: Vista isométrica torre y horno clinkerización.



Fuente: Base de datos Dpto. Proyectos, Cementos del Oriente planta Sogamoso.

En la figura 1-6 se identifica el área de carbón donde se destaca con el numero 1 el, motor del molino de carbón, con el numero 2 el ventilador de tiro del filtro, la trituradora para disminuir el diámetro de la materia prima, elevadores de cangilones y sopladores de inyección de carbón pulverizado para la combustión del horno.

Figura 1-6: Vista isométrica molino carbón línea 2.



Fuente: Base de datos Dpto. Proyectos, Cementos del Oriente planta Sogamoso.

En la empresa con el avance de la tecnología, se permite tener diferentes tipos de arranques para los motores, de acuerdo a su tamaño y aplicación, entre los más comunes son arranques directos, arranques con arrancador suave y arranque con variador, este último muy efectivo pero es un equipo no lineal gran generador de armónicos y estos pueden entrar en resonancia con los bancos de condensadores a lo que le suma problemas en la calidad de energía, en la deformación de la onda fundamental en tensión,

corriente y frecuencia, esta mala calidad de energía también representa daños en las instalaciones generando mayor demanda en mantenimiento y sobrecostos a la producción, otro tema importante es el de sobredimensionar un motor para una aplicación en específica, ya que un motor sobredimensionado trabaja con un bajo factor de potencia y esta genera energía reactiva que sumada con más equipos afectan el factor de potencia de la planta y puede llegar a generar el cobro por penalizaciones estimadas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), entidad que se encarga de formular los cobros de la energía, quien emiten una nueva resolución, la 015-2018 capítulo 12, la cual hace referencia al cobro de la energía reactiva, en la que se indica la forma de cobrar los sobrepicos que se generen en el mes, si la empresa superó en un 50% la energía reactiva al consumo de la energía activa esta será penalizada, si esta penalización se mantiene mes a mes, tendrá un factor multiplicativo por cada mes que se esté penalizando la empresa, hasta llegar a un máximo multiplicativo por 12, este factor se mantendrá por 6 meses después de que la empresa deje de generar cobro por energía reactiva, volverá a factor multiplicativo 1, también hace referencia que si la empresa genera energía reactiva capacitiva, esta tiene cero porcentaje de límite para su cobro el cual también será penalizada en su totalidad, para encontrar y conocer el estado de la empresa en todos estos factores se puede hablar de implementar eficiencia energética.

1.3 Eficiencia energética

Conjunto de actividades que permiten reducir el consumo de energía mediante el uso eficiente de la misma, optimizando el proceso y manteniendo o mejorando el nivel de producción con la misma energía o menos.

La gestión de energía permite una administración eficiente de la energía eléctrica, modificando estructuras de procesos y comportamientos relacionados con el uso de la energía. La eficiencia energética proporciona elementos para la toma de decisiones que permitirán mantener y aumentar la competitividad. Tener una buena calidad de energía nos permite tener una mayor confiabilidad, disposición de equipos en producción, aumenta la eficiencia y vida útil de los equipos

Lograr una eficiencia energética, aportamos a la reducción de CO₂ y contribuimos con el medio ambiente, tema de gran interés a nivel internacional ya que se han firmado pactos

entre países para implementar medidas en busca de un bien común al impacto ambiental, se determinan normas y estándares de operación en el consumo de la energía eléctrica que cumpliéndolas y demostrando resultados, se puede certificar a las empresas en eficiencia energética, en este caso la norma Icontec ISO 50001.[4]

1.4 Calidad de energía

Ya desde hace varios años se está tomando conciencia del buen uso de la energía eléctrica, donde les permite a las empresas a ser más competitivas, una mala calidad de energía eléctrica genera sobrecostos en la producción. La calidad de energía la podemos definir como las variaciones en la forma de onda, frecuencia y amplitud de las señales de corriente y tensión, debemos tener en cuenta que, las procedencias de los mayores problemas de calidad eléctrica se originan dentro de las instalaciones de la empresa, ya sea por instalaciones de equipos, fallas en el diseño de ingeniería, cableado en mal estado, funcionamientos fuera de parámetros, mantenimientos entre otros.[3]

Es necesario poder tener mediciones en las sub-áreas del proceso, se propone la migración a medidores con mayores capacidades y nuevas tecnologías e instalar en áreas que no contaban con esta medición, además de un software especializado para el monitoreo continuo de variables que nos permitirá hacer seguimiento a la calidad eléctrica de la empresa.

Estos equipos nos permitirán monitorear las áreas y ver las afectaciones de la calidad de energía que se generen, por energía reactiva y generación de armónicos entre más datos que no estudiaremos en esta propuesta.

Reducir los problemas de energía reactiva y armónica, ayuda a aumentar la eficiencia y confiabilidad de los equipos, aumentando su vida útil, disminuye los paros no programados.

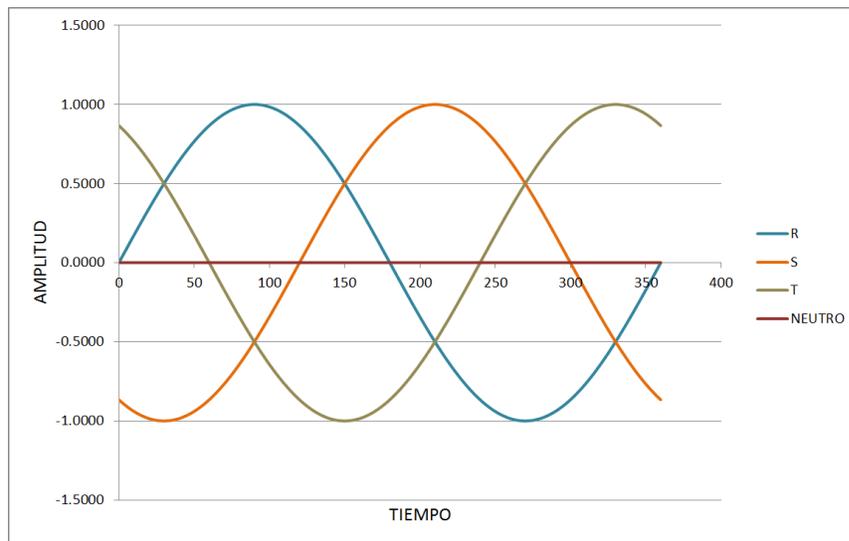
1.5 Armónicos

Los armónicos son señales de tensión o corriente sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, para la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar (60 Hz o 50 Hz) las formas de onda pueden ser descompuestas

en una suma de la frecuencia fundamental. Estos son ruidos en el sistema eléctrico. En la gráfica 1-7 podemos ver la una onda trifásica fundamental, R, S, T, más su neutro sin ninguna perturbación.[2]

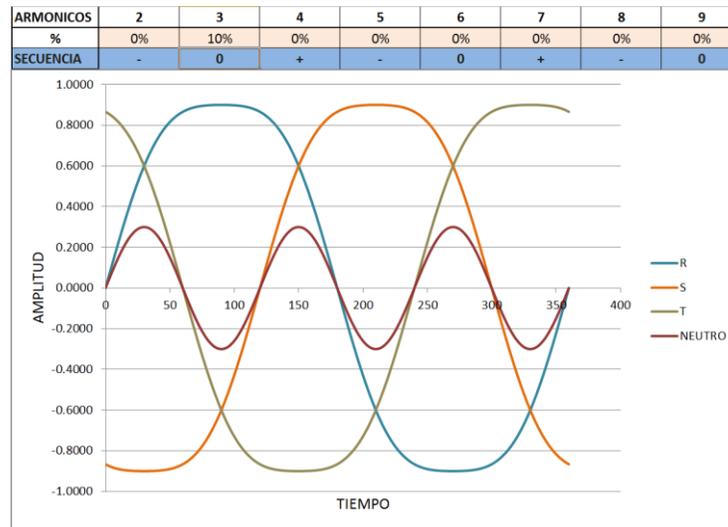
Se crea una hoja de Excel para ver, como es el comportamiento de los armónicos de acuerdo a su número de orden, en la red fundamental.

Figura 1-7: Onda trifásica fundamental ideal.



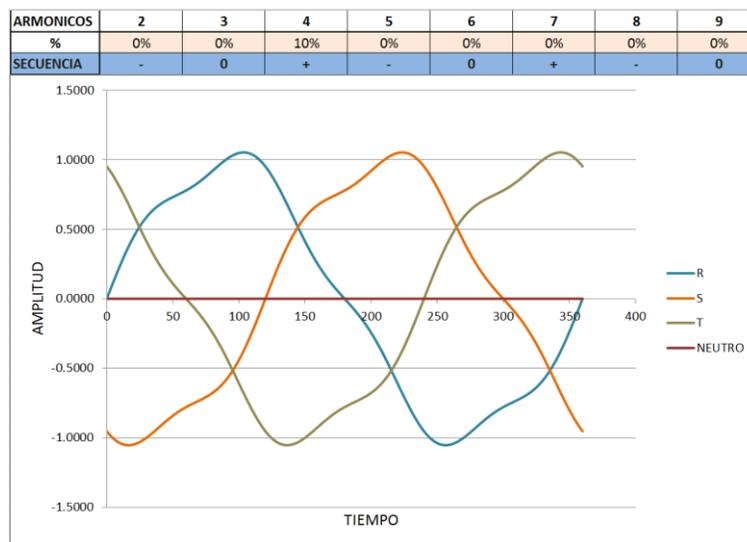
Fuente: Autor.

En la figura 1-8 se puede ver como se afecta la onda fundamental cuando solo se encuentra el armónico de tercer orden en un 10%, donde la onda se acorta y se aplana, pero lo más importante es que por el neutro se genera una onda en corriente que es la suma de la distorsión de las tres líneas y esto es debido a que los armónicos múltiples de 3 están en fase con las ondas fundamentales.

Figura 1-8: Afectación onda fundamental con 3 armónico en 10%.

Fuente: Autor.

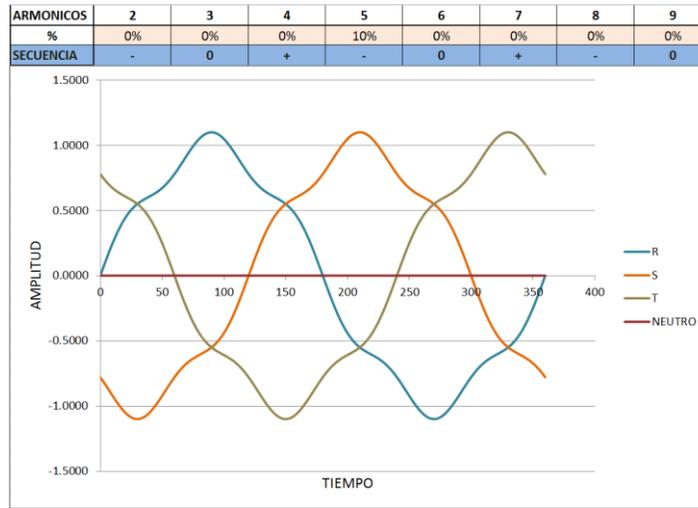
En la figura 1-9 se puede ver como se afecta la onda fundamental cuando solo se encuentra el armónico de cuarto orden en un 10%, donde la onda se ve con deformaciones.

Figura 1-9: Afectación de la onda fundamental con 4 armónico en 10%.

Fuente: Autor.

En la figura 1-10 se puede ver como se afecta la onda fundamental cuando solo se encuentra el armónico de quinto orden en un 10%, donde la onda se ve con deformaciones.

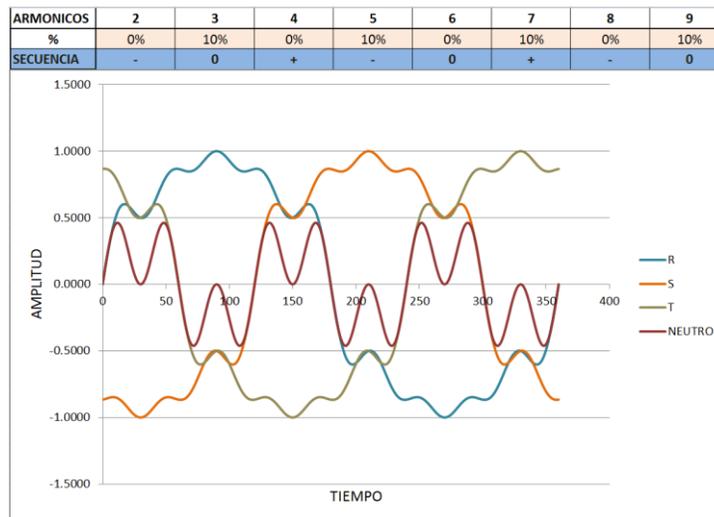
Figura 1-10: Afectación de la onda fundamental con 5 armónico en 10%.



Fuente: Autor.

En la figura 1-11 se puede ver como se afecta la onda fundamental cuando se encuentra la presencia de más de un armónico en la red eléctrica, y da como resultado la suma de armónicos de orden 3, 5, 7 y 9 se ve la deformación de la onda y presencia de corriente por el neutro.

Figura 1-11: Afectación de la onda fundamental por 3, 5, 7 y 9 armónico en 40%.



Fuente: Autor.

Estos armónicos son generados por cargas no lineales, debido al desarrollo y uso de la electrónica de potencia en la industria, estos han aumentado los niveles de distorsión armónica. De los análisis que se hicieron en las anteriores gráficas, se puede observar

como la presencia de armónicos distorsionan la onda fundamental y estos a su vez generan grandes problemas en la industria como, sobrecargas en las redes de distribución, sobrecargas en los conductores del neutro, vibración y envejecimiento prematuro de generadores, transformadores y motores, envejecimiento prematuro de los condensadores, perturbaciones en la redes de comunicación, esto genera a su vez un impacto económico, lo que eleva los costos de producción.[2]

La distorsión armónica se mide por separado del voltaje (THDV) y la corriente (THDI).

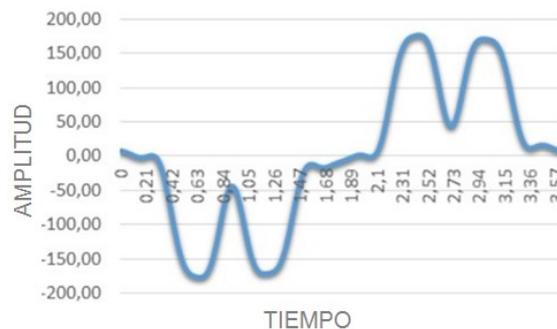
$$VTHD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots x}}{V_1} 100\% \quad (1.1)$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots x}}{I_1} 100\% \quad (1.2)$$

Donde V2 v3 v4 v5 son los componentes de los armónicos en tensión y V1 es componente fundamental a 60 Hz. Respectivamente I2 I3 I4 I5 son los componentes de los armónicos en corriente e I1 es la componente fundamental en 60Hz.[1]

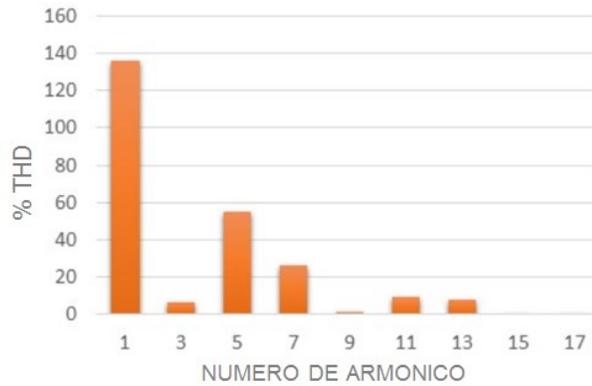
En la figura 1-12 se puede ver el comportamiento y la afectación de los armónicos en el dominio del tiempo, este nos ayuda identificar la forma de la onda; en la figura 1-13 se puede estudiar los armónicos en su espectro o dominio de la frecuencia esta nos ayuda a identificar el número del orden presente y porcentaje de participación en la onda fundamental.

Figura 1-12: Espectro armónico en el dominio del tiempo.



Fuente: <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/origen-armonicos-electricos/>

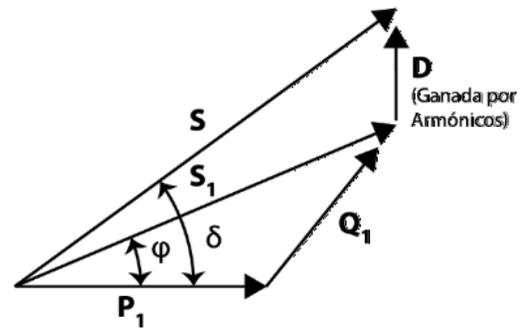
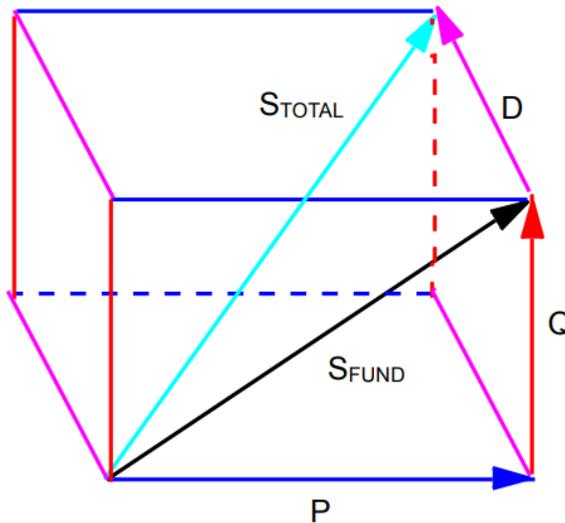
Figura 1-13: Espectro en el dominio de la frecuencia.



Fuente: <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/origen-armonicos-electricos/>

Al tener presencia de armónicos en la red, se tiene que hablar de un factor de potencia diferente al coseno fi, diferente al típico triangulo de potencias y de una tercer componente denominada con la letra D la cual llamamos un factor de potencia con desplazamiento o distorsionante como se muestra en la figura 1-12.[1]

Figura 1-14: Representación vectorial del factor de potencia distorsionante.



$$S = \sqrt{Q_1^2 + P_1^2 + D^2}$$

- Q_1 = Potencia Reactiva
- P_1 = Potencia Activa
- D = Potencia Distorsionante

Fuente: <https://syzcominsa.pe/blog/factor-de-potencia-de-desplazamiento.>

Figura 1-15: Calculo del factor de potencia distorsionante.

$$\begin{aligned}\mathbf{Cos \varphi} &= \frac{\mathbf{P_1}}{\mathbf{S_1}} \quad (\text{Factor de P. Desplazamiento}) \\ \mathbf{Cos \delta} &= \frac{\mathbf{P_1}}{\mathbf{S}} \quad (\text{Factor de P. Real o Total})\end{aligned}$$

Fuente: <https://syzcominsa.pe/blog/factor-de-potencia-de-desplazamiento>.

Las cargas no lineales devuelven a la red corrientes armónicas aguas arriba de la red. Para regular y limitar los niveles de tensión y corrientes en los puntos de la red pública, existen una serie de normas internacionales que establecen límites de emisión de armónicos a los sistemas eléctricos de la red.[1]

La generación de armónicos producidos por la empresa, también son inyectados a la red del proveedor del servicio eléctrico, estos pueden generar también problemas a la calidad de energía generando quejas y multas a la comercializadora del servicio, en este caso se han establecido límites de distorsión armónica permitidos a los usuarios. [1]

1.6 Normatividad en armónicos

La norma IEEE 519 de 1992 trata de armónicos introducidos por cargas no lineales a la red, con la finalidad de prevenir problemas de calidad de energía, estos armónicos si no son contralados por las empresas terminan afectan a los demás usuarios conectados a la red, su cumplimiento está siendo cada vez más estricto.

Se establecen normas, valores y límites para los armónicos en corriente por la norma IEEE 519, que dependiendo del nivel de corto-circuito que maneje cada empresa en su acometida se rigen por diferentes valores de TDD a plena carga. Para la empresa las áreas de estudio se encuentran entre más de 100 y menos de 1000 Amperios por esta razón el límite del TDD no puede superar el 15%. Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Normativa de armónicos IEEE 519.

Table 10.3, p78
Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69,000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{SC}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<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

Where:
 I_{SC} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Table of current distortion limits in IEEE Std 519

Fuente: Norma IEEE 519.

Los límites de tensión permitidos establecidos por la norma IEEE se representan en la figura 1-16. En el caso de la empresa para una tensión de acometida 440 Voltios se permite máximo un 5% THDV.[2]

Figura 1-16: Límites de Tensión THD IEEE 519.

Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal		
Nivel de tensión en la Acometida (V_n)	Distorsión armónica individual	Distorsión armónica total THD V_n
$V_n \leq 69$ kV	3.0%	5.0%
69 kV < $V_n \leq 161$ kV	1.5%	2.5%
$V_n > 161$ kV	1.0%	1.5%

Fuente: Norma IEEE 519.

1.7 Corrección de armónicos

La presencia de componentes de armónicos provoca que se distorsione la forma de onda fundamental de tensión o corriente, estos generan diferentes problemas en la red. Existen varias posibles soluciones para instalar, de acuerdo a la necesidad y estudio que realice la empresa, entre las cuales esta instalar filtros pasivos, filtros activos, filtros híbridos.

Filtros pasivos: Estos generalmente producen niveles de corriente altos sobre los condensadores, esto implica sobredimensionar la corriente de los condensadores entre 1

a 3 veces su corriente de permanencia, de igual forma fusibles, cableado, contactores, deben ser sobredimensionados de forma similar entre 1 a 3 y 1 a 5 veces sobre la corriente del condensador, se puede configurar las frecuencias de resonancia para eliminar el armónico de mayor presencia en la red. Este sistema contrarresta los efectos de la resonancia aumentando el nivel de tensión de los condensadores, también nos permite cambiar las frecuencias de resonancias para no entrar en conflictos con otros armónicos [1].

Filtros activos: Esta basado en la tecnología electrónica de potencia, se instala normalmente en paralelo a las cargas no lineales, estos analizan los componentes de armónicos en la red e inyectan la misma cantidad de corriente armónica desfasada, en consecuencia, las corrientes armónicas se neutralizan por completo [1].

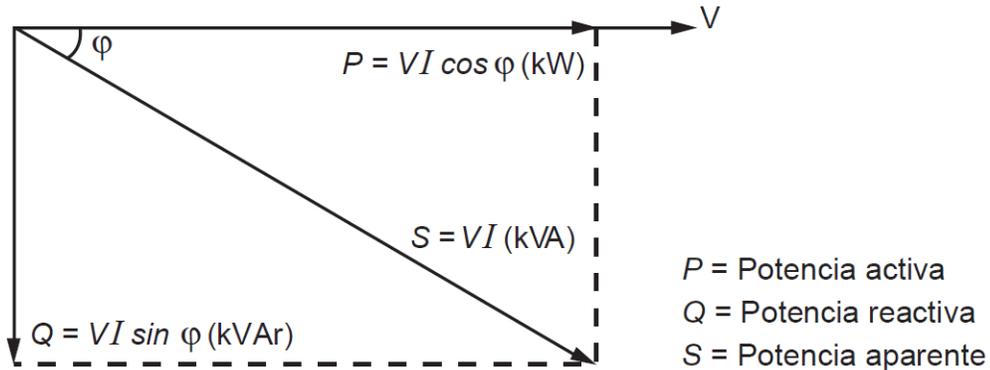
Filtros híbridos: Este tipo de filtro combina las ventajas del filtro activo y pasivo, se puede filtrar una frecuencia mediante un filtro pasivo y un filtro activo filtra las demás frecuencias [1].

1.8 Naturaleza de la Energía reactiva

En los diseños de construcción y montaje eléctricos para todas las maquinas (motores, transformadores, etc..) de plantas industriales se requiere tener en cuenta para su funcionamiento de dos formas de energía, la que se trasforma en energía activa, la cual es transformada en energía mecánica, calor, entre otras y energía reactiva, correspondiente a los campos magnéticos, la cual se puede presentar en dos formas: la requerida por los circuitos inductivos como motores y transformadores y la requerida por los circuitos capacitivos como capacidad de los cables y condensadores entre otras, también se debe tener en cuenta el factor de potencia, variable que incide en el cálculo del costo de la energía eléctrica.

La potencia asociada con la energía activa se denomina con la letra (P), la potencia asociada con la energía reactiva se denomina con la letra (Q), la relación entre estas dos energías en una suma vectorial da como resultado una energía aparente y se denomina con la letra (S).[1]

Figura 1-17: Diagrama vectorial de potencias.



Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas, según normas internacionales IEC.

Relación entre potencias.

- Potencia activa P (KW):
 - Monofásico (1 fase y neutro): $P = V \times I \times \cos \phi$ (1.3)
 - Bifásico (fase a fase): $P = U \times I \times \cos \phi$ (1.4)
 - Trifásico (3 fases o 3 fases + neutro): $P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi$ (1.5)
- Potencia reactiva Q (KVAR):
 - Monofásico (1 fase y neutro): $Q = V \times I \times \sin \phi$ (1.6)
 - Bifásico (fase a fase): $Q = U \times I \times \sin \phi$ (1.7)
 - Trifásico (3 fases o 3 fases + neutro): $Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \phi$ (1.8)
- Potencia aparente S (KVA):
 - Monofásico (1 fase y neutro): $S = V \times I$ (1.9)
 - Bifásico (fase a fase): $S = U \times I$ (1.10)
 - Trifásico (3 fases o 3 fases + neutro): $S = \sqrt{3} \times U \times I$ (1.11)

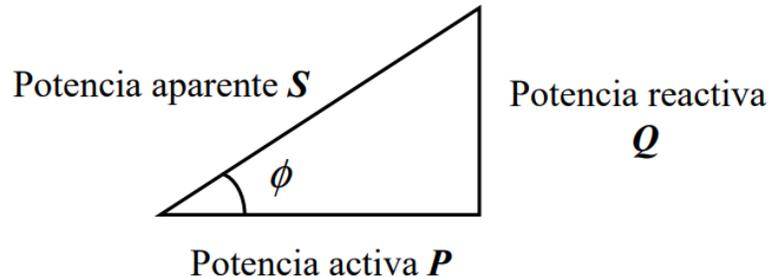
$V =$ Tensión entre fase y neutro.

$U =$ Tensión entre fases.

1.9 Factor de potencia

El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; esto es:

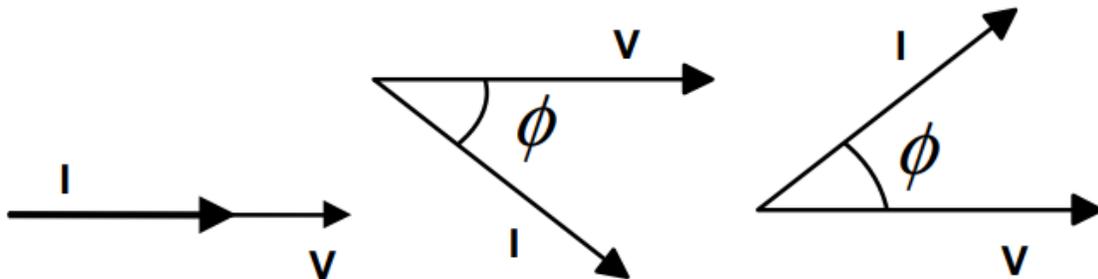
$$FP = \frac{P}{S} \quad FP = \cos \phi \quad (1.12)$$

Figura 1-18: Triángulo de potencias.

Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas, según normas internacionales IEC.

El término, factor de potencia es utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo, dependiendo del tipo de energía reactiva el factor de potencia puede estar, adelantado, retrasado o igual a 1.[1]

Figura 1-19: Carga resistiva, Carga inductiva, Carga capacitiva.

Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas, según normas internacionales IEC.

1.10 Corrección Factor de potencia

Las cargas inductivas con un bajo factor de potencia, hacen que la corriente se entregue al sistema, con la corriente en desfase de 90° respecto a la tensión, generando pérdidas de energía y caídas de tensión. Si se añade a la carga una batería de condensadores su corriente reactiva capacitiva, recorrerá la misma trayectoria que la reactiva inductiva de la carga; como esta corriente capacitiva desfasa la corriente en 90° contrarios a la inductiva,

estas dos componentes fluyen por la misma red se anularan mutuamente, si la batería de condensadores es eficiente y se diseña a la capacidad adecuada, no abra energía resistiva en el sistema aguas arriba de los condensadores. [8]

2. Capítulo 2: Desarrollo metodológico

Para dar cumplimiento a los objetivos, se desarrollaron las siguientes actividades.

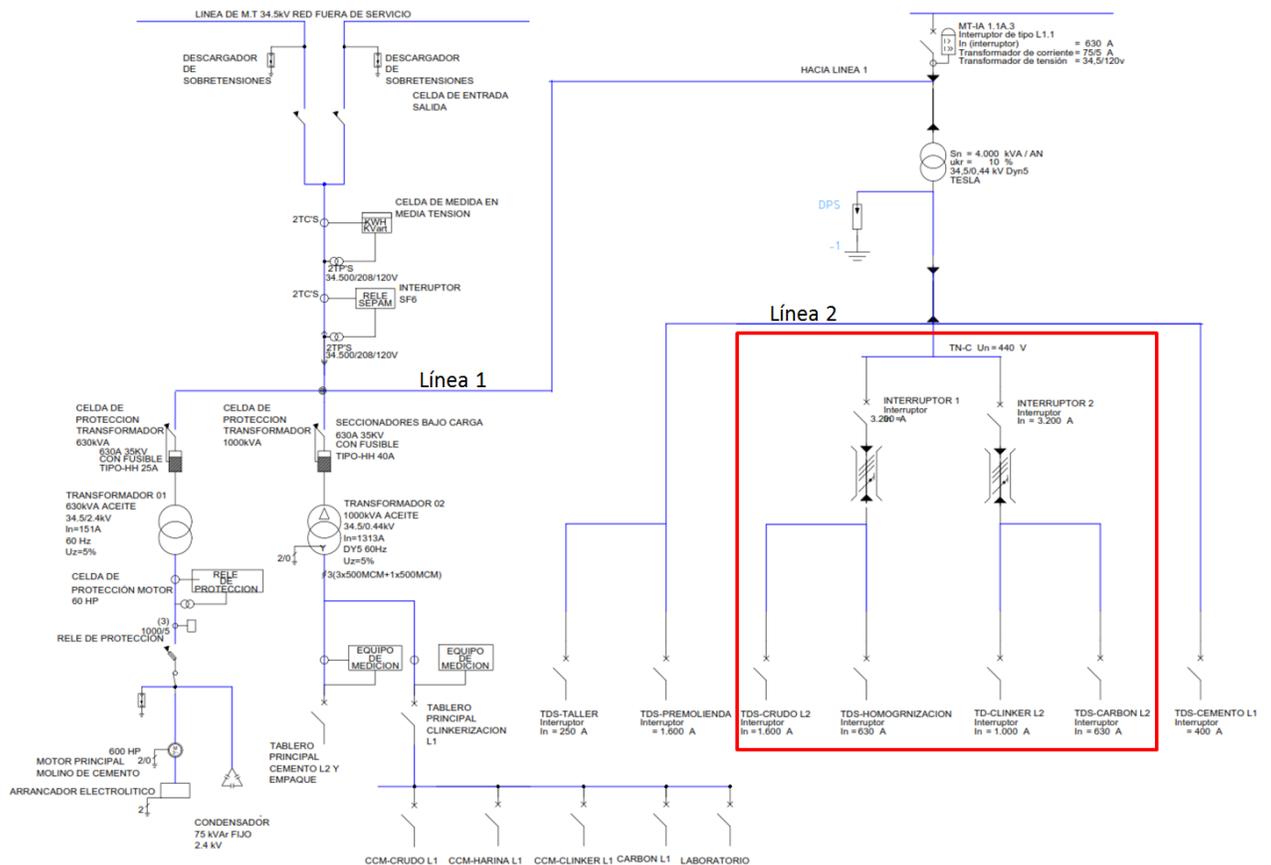
2.1 Descripción eléctrica de la planta

Cementos del oriente sede Sogamoso, se encuentra ubicado en la zona industrial, y cuenta con dos fronteras comerciales la cual, una está deshabilitada y la otra frontera comercial, está contratada con la EPSA empresa de Energía del Pacífico, la cual suministra con un voltaje de 34.5 Kv, está la recibe una celda de medición en media tensión, en la cual se derivan dos acometidas para lo que se entiende dentro de la empresa como línea de producción #1 y línea de producción #2, estos términos confunden un poco ya que con el tiempo se han hecho modificaciones y partes de la producción de la línea 1 tienen derivaciones del transformador instalado para la línea 2 como se muestra en la figura 2-1, hay una derivación para cemento L1. La acometida de la línea 1 llega a un tren de celdas de protección, para un primer transformador de 1000 kVA con una relación de 34.5/0.44 kV, esta distribuye a un primer interruptor principal para, cemento línea 2 y un segundo interruptor principal, para clinkerización línea 1. Del tren de celdas de protección de la línea 1, llega también a un segundo transformador de 630 kVA con una relación de 34.5/2.4 kV y esta la recibe un relé de protección para el motor principal de cemento L2.

Para la acometida de la línea 2, se tiene un transformador de 4000 kVA con una relación de 34.5/0.44 kV y distribuye energía al resto de la planta, la cual se tiene dividida en 7

áreas restantes de la siguiente manera, cemento I1, premolienda, taller mecánico, las otras cuatro áreas hacen referencia a la producción de Clinker I2, el área seleccionada en rojo como se muestra en la figura 2-1, dividida en dos grupos por dos interruptores principales, de la siguiente manera, interruptor 1 se encuentra crudo I2 y homogenización I2; en el interruptor 2 se encuentra, clinkerización I2 y carbón I2.

Figura 2-1: Diagrama general unifilar planta.

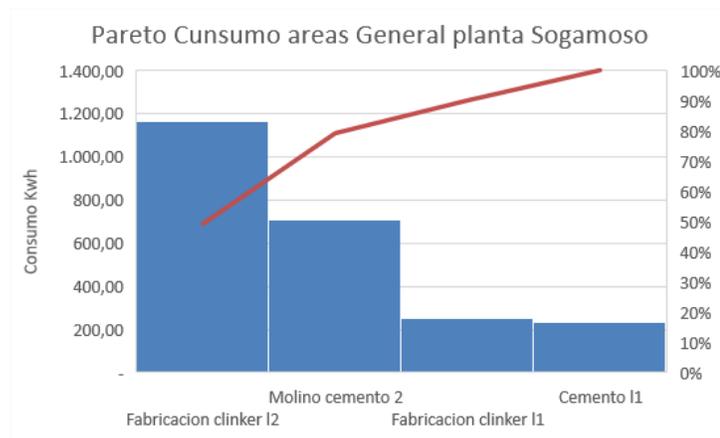


Fuente: Autor.

2.2 Selección del área de estudio

Se divide la empresa en cuatro procesos generales y se tomó información de estas áreas, para determinar el área de estudio. En la figura 2-2 se observa el resultado de estudios previos relacionados con el consumo de energía de la planta, en el cual evidencio por el análisis de Pareto que el área de fabricación Clinker I2 es quien tiene mayor impacto en el consumo de energía de la planta, por esta razón se seleccionó como el área de estudio con el propósito de generar mejoras significativas en la eficiencia energética de la planta.

Figura 2-2: Pareto Consumo por áreas Cementos del Oriente.



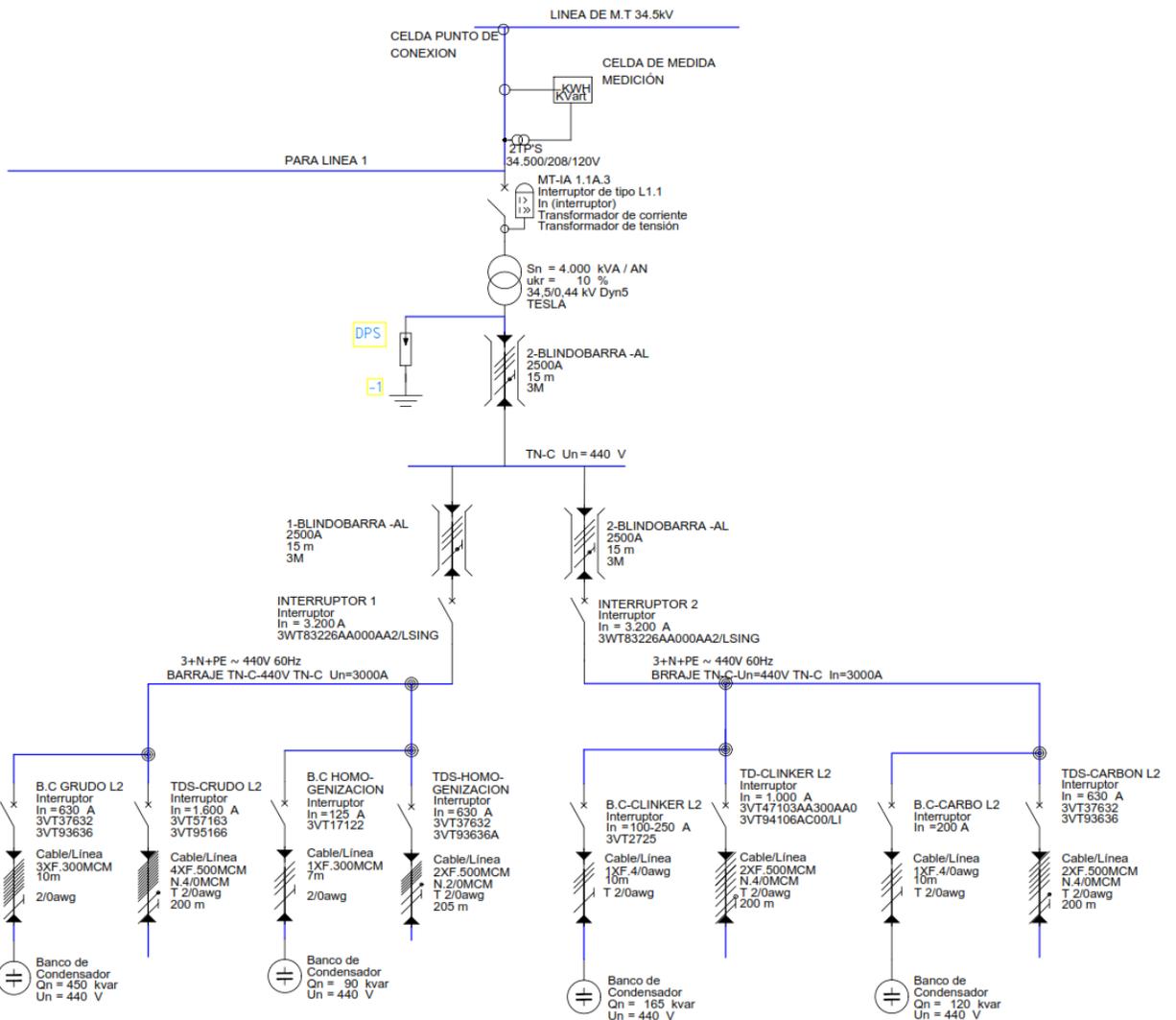
Fuente: Autor.

2.3 Descripción de Clinker L2

En la figura 2-2 se aprecia con más detalle el levantamiento que se realizó para el diagrama unifilar del área de clinkerización línea 2, empezando con una celda de entrada punto de conexión marca Schneider Electric, seguido una celda de medición de energía en media tensión marca Schneider Electric, este deriva a la celda de protección del transformador de 4000 kVA con una relación de 34.5/0.44 kV, este distribuye por medio de dos blindo-barras en aluminio para dos interruptores principales de referencia 3wt de 3200 amperios marca Siemens, el primer interruptor distribuye por medio de un barraje a dos interruptores de referencia 3vt, uno para el área de crudo 1600 amperios y el otro para el área de homogenización 630 amperios; el segundo interruptor principal distribuye por medio de un barraje a dos interruptores de referencia 3vt, uno para el área clinkerización 1000 amperios y el segundo para el área de carbón 630 amperios, en cada área tiene instalado un banco

de condensadores con su respectivo regulador de energía reactiva BR 6000 marca Epcos para controlar los pasos da cuerdo a mejorar el factor de potencia que requiera el área, para el de crudo tiene un diseño total de 450 kVAr, homogenización tiene un diseño total de 90 kVAr, Clinkerización tiene un diseño total de 165 kVAr, carbón tiene un diseño de 120 kVAr.

Figura 2-3: Diagrama unifilar Clinker L2.



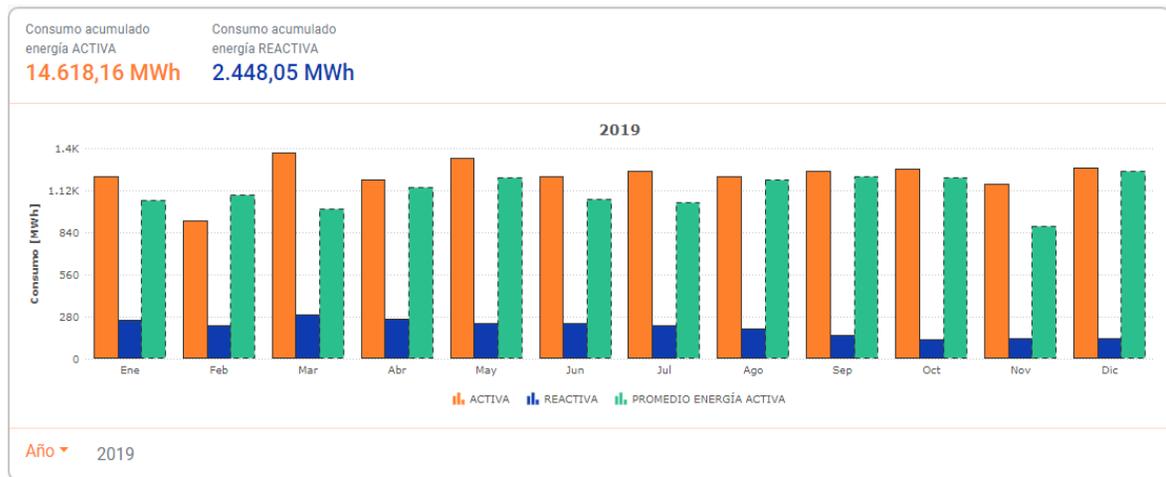
Fuente: Autor.

2.4 Revisión histórica de consumo de energía de la planta Cementos Oriente

Esta revisión de consumo de energía se realizó entre el periodo comprendido del año 2019, usando la plataforma del comercializador de energía CELSIA, en la cual se puede obtener históricos anuales, mensuales, diarios y totales de consumos acumulados de energía reactiva y energía activa.

En la Figura 2-4 se observa el histórico de consumo de energía reactiva y activa del año 2019, en esta se puede apreciar que se ha estado presentando una disminución en el consumo de energía reactiva a partir del mes de abril.

Figura 2-4: Histórico consumos energía activa y reactiva año 2019.



ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
ACTIVA	REACTIVA										
1208,8 MWh	252,12 MWh	918,49 MWh	221,67 MWh	1365,97 MWh	289,43 MWh	1188,75 MWh	261,61 MWh	1331,99 MWh	230,9 MWh	1209,89 MWh	234,68 MWh
JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
ACTIVA	REACTIVA										
1249,22 MWh	216,23 MWh	1205,52 MWh	200,09 MWh	1248,53 MWh	150,96 MWh	1263,08 MWh	126,71 MWh	1162,31 MWh	132,31 MWh	1263,61 MWh	131,34 MWh

Fuente: Pagina Celsia comercializadora de Energía.

También se realizó una correlación de consumo de energía vs producción de cemento, para el periodo comprendido entre Enero y Diciembre del 2019 para este indicador se tuvo en cuenta la producción mensual en toneladas de cemento contra el consumo de energía

en kWh/mes. Esto se presenta en la Tabla 2-1, el consumo de energía mostrado incluye los datos de producción de todas las áreas de la planta, la producción de Cemento ART (Alta Resistencia Técnica) se encuentra asociada con el molino de cemento 1, siendo este alternado para la producción de cemento UG (Uso General). Este indicador de producción vs consumo de energía es importante ya que nos permite monitorear cuando la planta es más eficiente que otros meses y poder investigar los impactos en campo.

El Banco de Desarrollo de Latinoamérica, promueve e incentiva todo tipo de proyectos que contribuyan a llevar una mejor calidad de vida, ellos enfatizan con la industria en la eficiencia energética y desarrollaron un, archivo llamado, manual para la evolución de proyectos de eficiencia energética en el sector cemento, donde investigan y hacen referencia a todos los consumos energéticos de este sector, donde nos facilita como información el valor promedio mundial de consumo de energía eléctrica por tonelada de cemento el cual es de 107 kWh/ton cemento, este dato nos permite compararlo con nuestro indicador el cual está por encima del promedio, con esto se puede determinar que la empresa tiene un potencial de ahorro de energía eléctrica.

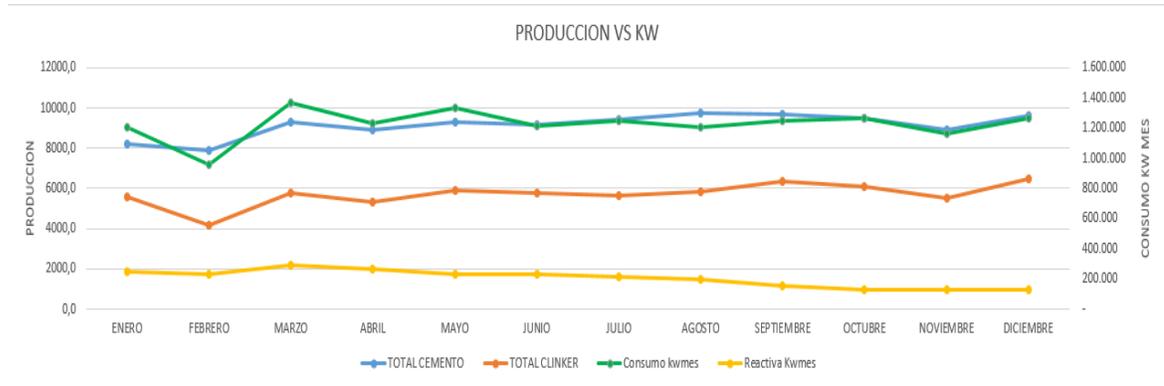
Tabla 2-1 Correlación consumo de energía vs producción Ton.

SEGUIMIENTO ENERGETICO CEMENTOS DEL ORIENTE											
AÑO 2019	MES	CM UG L1	CM UG L2	CM ART	CK1	CK2	TOTAL CEMENTO	TOTAL CLINKER	Consumo kwmes	I.D PvsE	Reactiva Kwmes
	ENERO	464,2	7020,0	726,7	815,8	4782,7	8210,9	5598,5	1.208.804	147,22	252.120,0
	FEBRERO	1418,9	6104,1	334,7	1260,0	2916,0	7857,7	4176,0	959.066	122,05	231.230,0
	MARZO	2162,2	7073,3	66,1	1441,2	4322,3	9301,6	5763,5	1.365.976	146,85	289.430,0
	ABRIL	1750,0	6861,6	312,5	1311,0	3999,3	8924,1	5310,3	1.231.469	137,99	269.500,0
	MAYO	1704,4	7324,0	270,1	909,5	4969,0	9298,5	5878,5	1.331.990	143,25	230.900,0
	JUNIO	1686,9	7297,5	215,6	1153,4	4629,1	9200,0	5782,5	1.209.895	131,51	234.680,0
	JULIO	1176,1	7819,1	424,9	1005,4	4630,5	9420,1	5635,9	1.249.220	132,61	216.230,0
	AGOSTO	985,5	8356,5	421,6	1210,3	4647,9	9763,6	5858,2	1.207.520	123,68	200.090,0
	SEPTIEMBRE	1157,6	8008,4	530,1	1365,0	5013,3	9696,1	6378,2	1.248.530	128,77	150.960,0
	OCTUBRE	1112,5	7790,3	602,7	1210,1	4870,9	9505,5	6081,0	1.263.080	132,88	126.710,0
	NOVIEMBRE	870,56	7573,7	480,5	850,5	4644,4	8924,7	5494,9	1.162.310	130,23	132.310,0
	DICIEMBRE	709,9	8287,6	622,8	1396,14	5096,2	9620,3	6492,4	1.263.610	131,35	131.340,0

Fuente: Autor

A partir de los datos de la tabla 2-1 se realizó la figura 2-3 en la cual se puede apreciar de una manera más evidente que la producción de Clinker (línea naranja), impacta de manera significativa el consumo de energía eléctrica de la planta (línea verde).

Figura 2-5: Tendencia datos de producción, consumo de energía.



Fuente: Autor

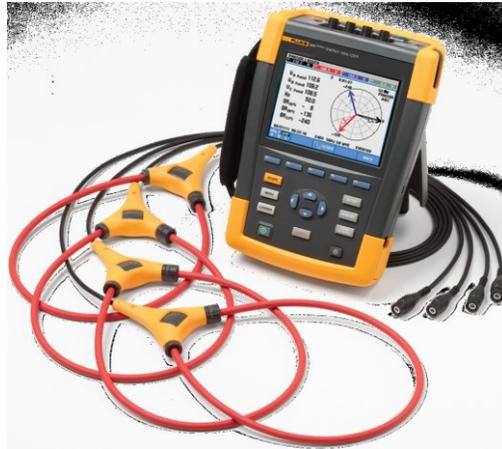
2.5 Consolidación de un censo de cargas

En esta etapa se realizó el levantamiento de la información de elementos, equipos, protecciones, conexiones físicas de proceso de producción de Clinker Línea 2, esto datos se plasmaron en un diagrama unifilar que permite identificar la distribución de las áreas, se incluyen el área de premolienda, cemento Línea 1, debido a que están conectadas al transformador de distribución de la Línea 2. Este diagrama se anexa en la parte final del documento para facilitar su visualización, ver anexo 1.

Se inspecciono directamente sobre las placas de los equipos, del cableado, de sus ubicaciones y funciones dentro de áreas determinadas como molienda de crudo, transporte, homogenización, molienda de carbón y Clinkerización. En la Tabla 2-3 se muestra el resumen de esta actividad.

Se alquiló un equipo, Analizador de calidad eléctrica y energía 434 Fluke, para tomar medidas instantáneas a los motores en operación y poder identificar sus cargas de operación. En la figura 2-6 se observa el equipo utilizado para las pruebas de campo.

Figura 2-6: Equipo Fluke 434.



Fuente: <https://seisa.com.co/producto/fluke-434-ii/>

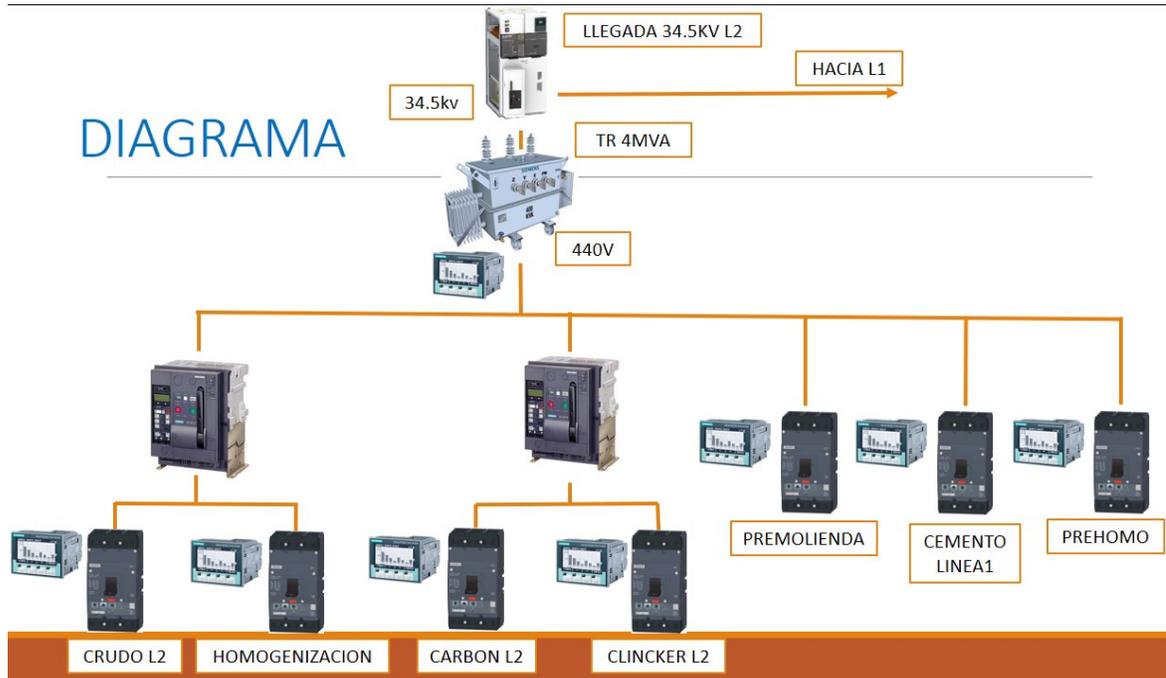
El proceso realizado consistió en una medición sobre cada uno de los motores del área en su operación normal permitiendo identificar los voltajes de operación, las corrientes demandadas, factor de potencia, potencia activa y potencia reactiva. Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 3.

2.6 Estudio de análisis de armónicos en la zona Clinker Línea 2

La planta contaba con medidores antiguos el cual no permitía, hacerle seguimiento a las variables necesarias, para una investigación de la calidad de energía, es por esto que se propuso la adquisición de nuevos equipos y software, para su continuo monitoreo de la planta de Cementos Oriente Sede Sogamoso, después de varias cotizaciones y analizar las características de diversos equipos se dio la aprobación, para compra de los medidores SENTRON PAC 4200 marca Siemens, junto con la consecución de estos medidores, se adquirió el software especializado SENTRON POWERMANAGER marca Siemens para el seguimiento y monitoreo de variables eléctricas, que nos permitirá tomar decisiones para la gestión de energía.

En la figura 2-7 podemos ver la propuesta realizada, para el cambio de medidores y la instalación de un nuevo punto de medida general aguas abajo del transformador principal.

Figura 2-7: Propuesta puntos de medición línea 2.

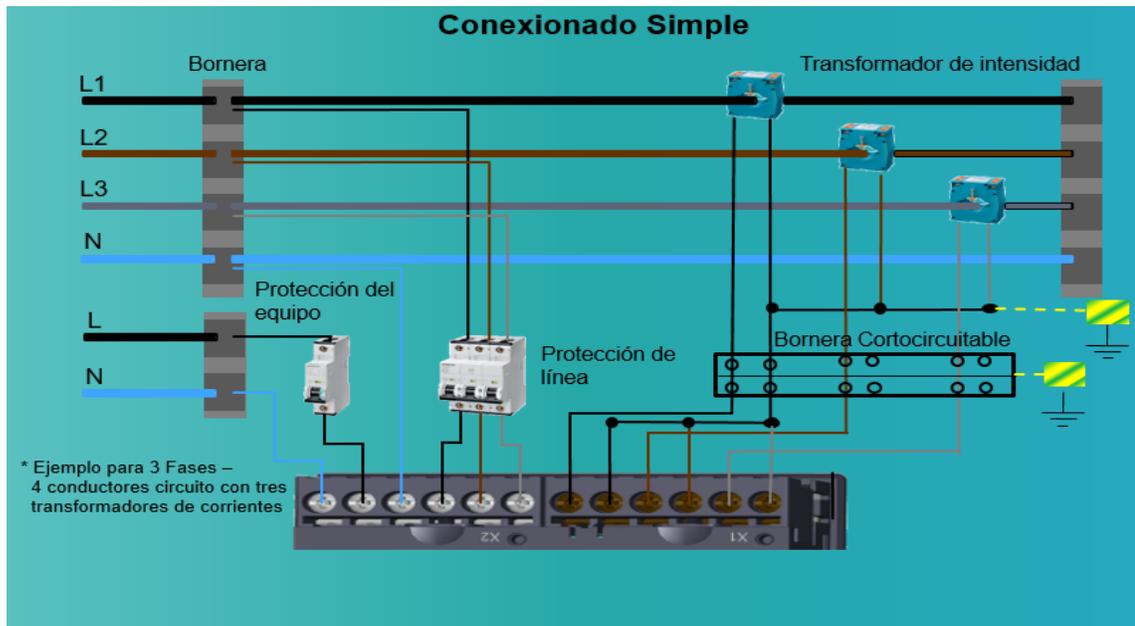


Fuente: Autor

El equipo SENTRON PAC 4200 realiza la medición de 200 parámetros tales como voltaje fase-fase, voltaje fase-neutro, corriente de línea, corriente de neutro, energía reactiva, factor de potencia, armónicos, THD, entre otros. El software de monitorización de energía, SENTRON POWERMANAGER, visualiza y analiza los flujos de energía, registra tendencia, genera reportes de las diferentes variables definiendo periodos de observación.

Para la instalación fue necesario adquirir nuevos elementos tales como transformadores de corriente, borneras cortocircuitables, protecciones tripolares y monopolares. La forma de conexión sugerida por los proveedores y ajustada a la necesidad de la planta se muestra en la figura 2-5.

Figura 2-8: Diagrama de conexiones para equipos SENTRON PAC 4200.



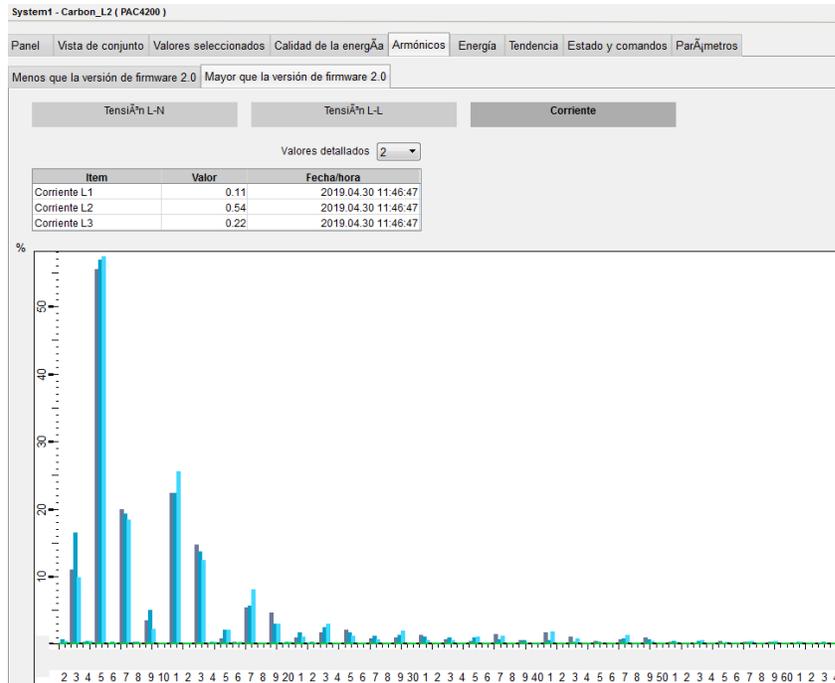
Fuente: Presentación Siemens.

El uso de borneras cortocircuitables no estaba referenciado por los proveedores sin embargo se hace la instalación de estas para evitar daños en los transformadores de corriente y evitar prolongar los cortes de energía innecesariamente.

Para la medición de armónicos se instalaron los equipos junto con el software de monitoreo en cada área del proceso de producción de Clinker, el protocolo de comunicación para los equipos es por, Ethernet tcp/ip la cual nos facilita utilizar la red de la planta. Según la configuración por software se muestra los armónicos en tensión y en corriente presentes en cada área, distorsión total de armónicos THD y su porcentaje, es necesario establecer parámetros de voltaje de alimentación y capacidad de los transformadores de corriente. Para desarrollar este trabajo de instalación de los nuevos equipos fue necesario hacer un requerimiento de todos los materiales como borneras, borneras corto-circuitables, mini-breakers, cable de control para las conexiones, y un tiempo de desconexión programado y autorizado por el director de planta de una hora por áreas para la instalación y conexiones de los equipos a utilizar y poder sincronizar con el Software.

La interfaz del software SENTRON POWERMANAGER se muestra en la figura 2-9, en la cual es posible identificar la cantidad de armónicos y su respectivo porcentaje, con el propósito de realizar el diagnostico respectivo conforme la norma IEEE 519.

Figura 2-9: Espectro de armónicos Carbón Línea 2.

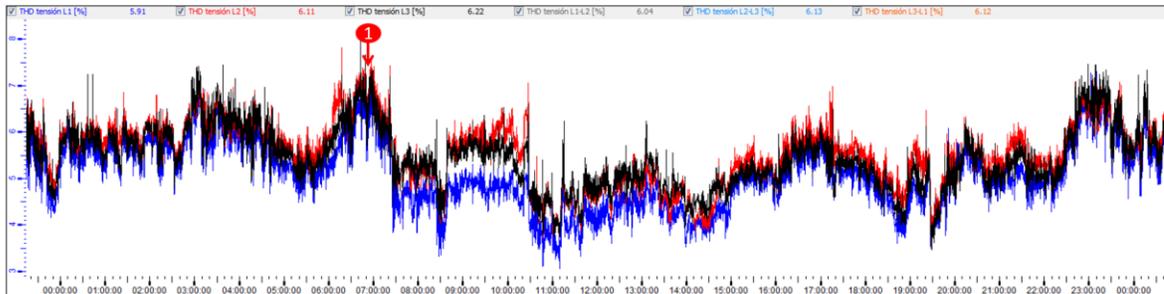


Fuente: SENTRON POWERMANAGER en Carbón Línea 2.

La anterior es un ejemplo claro en las áreas: Crudo Línea 2, homogenización Línea 2, Clincker Línea 2.

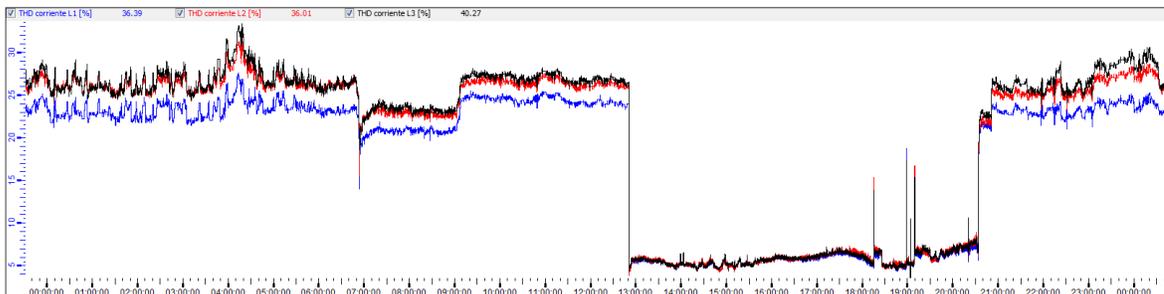
Los hallazgos, resultados, análisis son representados en el capítulo 3 del presente libro.

Además, con este equipo se logra calcular y obtener la tendencia de la distorsión armónicas de tensiones totales (THD) presentes en circuitos de interés, figura 2-10.

Figura 2-10: THD en tensión.

Fuente: Sentron Powermanager.

El análisis de instrumento permite obtener los THD en corriente, (figura 2-11), apreciamos la curva de tendencia del THD en corriente, esta permitirá conocer el estado de calidad de energía; su comportamiento en operación con banco y sin banco de condensadores en las diferentes áreas.

Figura 2-11: THD en corriente.

Fuente: Sentron Powermanager.

Retomando el análisis de la afectación de los armónicos presentes, se tiene que registrar la distorsión total de armónicos THD por área, según la Norma IEEE 519, teniendo en cuenta que este parámetro no debe superar el 15%.

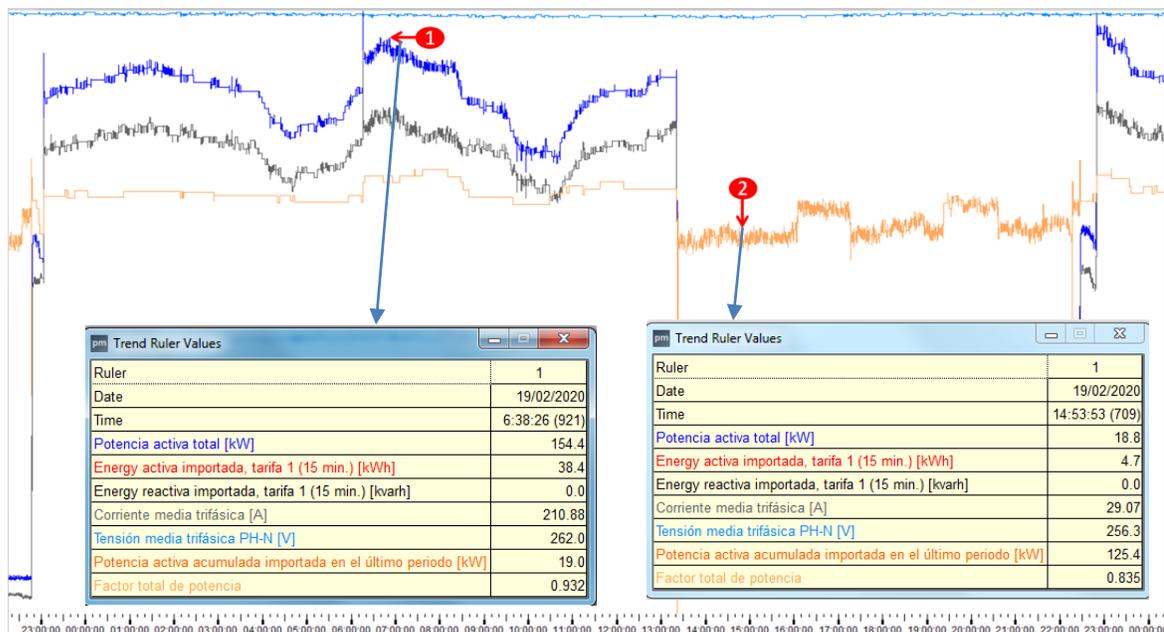
2.7 Estudio de factor de potencia en la zona Clinker Línea 2

Para realizar el estudio del factor de potencia en la zona Clinker Línea 2, inicialmente se efectuaron mediciones de potencia reactiva y potencia activa. Figura 2-12.

Descripción de interfaz

En la figura 2-12, se observa que el rango de medido es en tiempo real; para las siguientes variables: primero las tendencias de oscilaciones en cambios de energía activa y su lapso de caída dando a conocer paro de equipos, (línea azul oscuro); segundo la corriente media trifásica en energía activa, (línea gris); por último, se contempla el comportamiento del factor de potencia variantes en energía activa, (línea amarilla).

Figura 2-12: Ejemplo de curva de tendencia de factor de potencia.



Fuente: Sentron Powermanager.

Con la información del censo de áreas, se realiza una tabla con los motores instalados, para definir la puesta en funcionamiento de los bancos de condensadores determinando su carga total. Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Calculo banco de condensadores.

CARBON L2											
FS	1	POTENCIA ELECTRICA CONSUMIDAS DE TRABAJO EN %									
		Kva	Amp	Kvar	KW TOTAL						
CARGA PREVISTA TRANSFORMADOR		189,4	248,50	71,12	166,548						
ítem	Zona de Servicio	Equipo	Codigo	Potencia Electrica Consumida kW.	Voltaje	Factor de Potencia a Corregido	Amp	Potencia Electrica Aparente Consumida kVA.	Potencia Electrica Reactiva Consumida kVAR.	Factor de Potencia Corregido	Corrector de Factor de Potencia KVAR
1	TRITURACION DE CARBON LINEA 2	DOSIFICADORA TOLVA CARBON 2	BDF 00	0,7	440	0,94	1,0	0,7	0,3	0,97	0,1
2		BANDA ALIMENTACION A TRITURADORA CARBON 2	BTA 013	7,5	440	0,94	10,5	8,0	2,7	0,97	0,8
3		TRITURADORA CARBON 2	TRM 001	15	440	0,83	23,7	18,1	10,1	0,97	6,3
1		ELEVADOR A SILO PRINCIPAL CARBON TRITURADO 2	ELC 013A	6	440	0,83	9,5	7,2	4,0	0,97	2,5
2		ELEVADOR A SILO AUXILIAR CARBON TRITURADO 2	ELC 013B g/l	1,1	440	0,83	1,7	1,3	0,7	0,97	0,5
3	VENTILADOR FILTRO SILO CARBON TRITURADO 2	VTC 045	5,5	440	0,83	8,7	6,6	3,7	0,97	2,3	
4	MOIENDA DE CARBON LINEA 2	DOSIFICADORA CARBON TRITURADO 2	BDF 019	0,55	440	0,83	0,9	0,7	0,4	0,97	0,2
5		ROTATIVA ALIMENTACION A MOLINO CARBON 2	VRO 026	5	440	0,83	7,9	6,0	3,4	0,97	2,1
6		MOLINO CARBON 2	MVP 003	75	440	0,83	118,6	90,4	50,4	0,95	25,7
7		SEPARADOR DINAMICO CARBON 2	SDM 002	7,5	440	0,83	11,9	9,0	5,0	0,97	3,2
8		BOMBA LUBRICACION SEPARADOR MOLINO CARBON 2	BLU 000	1,8	440	0,83	2,8	2,2	1,2	0,97	0,8
9		VENTILADOR FILTRO MOLINO CARBON 2	VTC 046	75	440	0,94	104,7	79,8	27,2	0,97	8,4
10		BOMBA DE REFRIGERACION CHUMACERAS VENT. FILTRO MOLINO 2	BLF 000	0,37	440	0,83	0,6	0,4	0,2	0,97	0,2
11		VENTILACION FORZADA MOTOR VENTILADOR FILTRO MOLINO 2	VTM 000	0,32	440	0,83	0,5	0,4	0,2	0,97	0,1
12		ROTATIVA DESCARGA FILTRO MOLINO A SILO PULVERIZADO CARBON 2	VRO 027	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
13		VENTILADOR FILTRO AUXILIAR DESPOLVAMIENTO CARBON 2	VTC 000	5,5	440	0,94	7,7	5,9	2,0	0,97	0,6
14		ROTATIVA FILTRO AUXILIAR DESPOLVAMIENTO CARBON 2	VRO 031	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
15	ALIMENTACION DE CARBON AL HORNO	ROMPE GRUMOS SILO CARBON PULVERIZADO 2	RGR 003	55	440	0,9	80,2	61,1	26,6	0,97	12,9
16		ROTATIVA A SILO PULMON CARBON PULVERIZADO 2	VRO 028	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
17		ROMPEGRUMOS SILO PULMON CARBON 2	RGR 004	0,75	440	0,86	1,1	0,9	0,4	0,97	0,3
18		ROTATIVA A DOSIFICADOR CARBON A QUEMADOR HORNO 2	VRO 030	0,44	440	0,86	0,7	0,5	0,3	0,97	0,2
19		DOSIFICADORA CARBON PULVERIZADO MOLINO 2	BDF 020	0,55	440	0,86	0,8	0,6	0,3	0,97	0,2
20		ROTATIVA CARBON A QUEMADOR HORNO 2	VRO 029	0,75	440	0,86	1,1	0,9	0,4	0,97	0,3
21		SOPLADOR TRANSPORTE CARBON QUEMADOR A HORNO 2	SPD 008	11	440	0,9	16,0	12,2	5,3	0,97	2,6
TOTALES				277,58			414,2	315,6	146,5		71,1

Fuente: Autor.

Cada banco de condensadores tiene instalado un regulador de energía reactiva (BR 6000 marca Epcos), esto con el fin de controlar los pasos y tener un mejor control de la energía reactiva en operacion. Figura 2-13.

Figura 2-13: Regulador de energía reactiva.Fuente: <https://www.mgi.com.uy/images/pdf/epcos/BR6000.pdf>.

3. Resultados y análisis

3.1 Análisis de cargas por áreas

Los resultados obtenidos de las pruebas en campos de motores, corresponden a las cargas más significativas del área de Clinker línea 2 están relacionados en la tabla 3-1. Adicionalmente en el anexo 1 se presenta la información detallada del censo de cargas.

Tabla 3-1: Resultados censos de cargas.

EQUIPOS	CODIGO	Potencia (W)	Corriente (A)	Factor de potencia (FP)	Potencia reactiva (Var)
MOLIENDA DE CARBON LINEA 2					
MOLINO CARBON 2	MVP 003	40160	60	0.92	18010
VENTILADOR FILTRO MOLINO CARBON 2	VTC 046	5670	81	0.92	23360
VENTILACION FORZADA MOTOR VENTILADOR FILTRO MOLINO 2	VTM 000	140	1.2	0.15	830
ALIMENTACION DE CARBON AL HORNO					
SOPLADOR TRANSPORTE CARBON QUEMADOR A HORNO 2	SPD 008	2320	11.4	0.27	8190
ALIMENTACION MATERIAS PRIMAS CRUDO					
BANDA MATERIAS PRIMAS CRUDO 2	BTA 012	5228	11.1	0.56	7150
VENTILADOR DOSIFICADORAS CRUDO 2	VTC 043	1021	5.72	0.23	4400
ROTATIVA DESCARGA FILTRO DOSIFICADORAS CRUDO 2	VRO 025	112	0.6	0.27	380
MOLIENDA DE CRUDO					
MOLINO CRUDO 2	MVR 001	116900	174	0.87	65870
SEPARADOR DINAMICO MOLINO DE CRUDO 2		71380	111	0.85	42480
ELEVADOR RECIRCULACION MOLINO CRUDO 2	ELC 009	480	3.88	0.14	2822
VENTILADOR FILTRO ELEVADOR DE RECIRC. MOLINO CRUDO 2	VTC 047	3309	5	0.836	2144
VENTILADOR MOLINO CRUDO 2	VTC 026	10700	150	0.91	4990
ROTATIVA 1 CICLON MOLINO CRUDO 2	VRO 018	175	1.51	0.146	1194
ROTATIVA 2 CICLON MOLINO CRUDO 2	VRO 019	171	2.02	0.13	1491
VENTILADOR AERO DESCARGA CICLONES MOLINO CRUDO 2	VTC 028	200	2.92	0.11	2040
COMPRESOR SFC 110		51630	88.3	0.83	33350
COMPRESOR CSD-1005		61560	98	0.83	4080
TRANSPORTE HARINA					
VENTILADOR AERO DESCARGA FILTRO HORNO 2	VTC 029	290	2.41	0.160	1740
ROTATIVA AERO DESCARGA FILTRO HORNO 2	VRO 020	290	2.41	0.16	1740
TRANSPORTADOR CRUDO A ELEVADOR SILO HARINA 2	TRA 001	1800	2.55	0.264	1900
VENTILADOR FILTRO TRANSPORTADORES A ELEVADOR SILO HARINA 2	VTC 030	4021	6.30	0.76	3057
SIN FIN DESCARGA TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	TSF 004	230	1.4	0.205	1060
TRANSPORTADOR TORRE ENFRIAMIENTO GASES 2 ASILO 2	TRA 002	550	2.55	0.264	1900
ELEVADOR MOTOR PRINCIPAL A SILO HARINA 2	ELC 010	2450	12.8	0.18	9500
VENTILADOR AERO ELEVADOR A SILO HARINA 2	VTC 031	1400	2.8	0.62	1720
VENTILADOR 1 AEROS DISTRIBUCION A SILO HARINA 2	VTC 032	1400	2.8	0.62	1720
VENTILADOR 2 AEROS DISTRIBUCION A SILO HARINA 2	VTC 050	640	2.6	0.025	2030
VENTILADOR FILTRO A SILO HARINA 2	VTC 033	130	8.1	0.026	6080
ALIMENTACION DE HARINA HORNO 2					
SOPLADOR 1 FLUIDIFICACION SILO HARINA 2	SPD 006	8280	33.9	0.3	25400
SOPLADOR SILO PASO HARINA 2	SPD 007	448	3.26	0.55	1690
ROTATIVA DOSIFICADOR MULTICOR HARINA HORNO 2	VRO 022	80	1.5	0.085	1030
ELEVADOR 1 MOTOR PRINCIPAL A TORRE 2	ELC 011A		13.3		
ELEVADOR 2 MOTOR PRINCIPAL A TORRE 2	ELC 012A	330	13.3	0.032	10430
VENTILADOR FILTRO DESPOLLAMIENTO ELEVADORES A TORRE 2	VTC 036	2430	5	0.62	3050
FABRICACION CLINKER					
VENTILADOR TIRO HORNO 2	VTC 039	68590	100	0.87	37390
VENTILACION FORZADA VENTILADOR TIRO HORNO 2		430	1.7	0.3	1330
SOPLADOR AIRE PRIMARIO QUEMADOR HORNO	VTC 042	19840	28.8	0.93	7740
HORNO 2	HRO 002	24520	46.4	0.792	18830
VENTILADOR SELLO SALIDA HORNO 2	VTC 041	67410	98.6	0.915	29570

ENFRIADOR CLINKER 2	EFR 002	9460	22.2	0.6	8010
TOMA MUESTRAS AERO DERCARGA CICLONES CRUDO	TMM-005	120	0.8	0.18	660

Fuente: Autor.

El resultado del censo de cargas se puede evidenciar que opera con un factor de potencia reducido, lo cual requiere una compensación capacitiva en las áreas de interés.

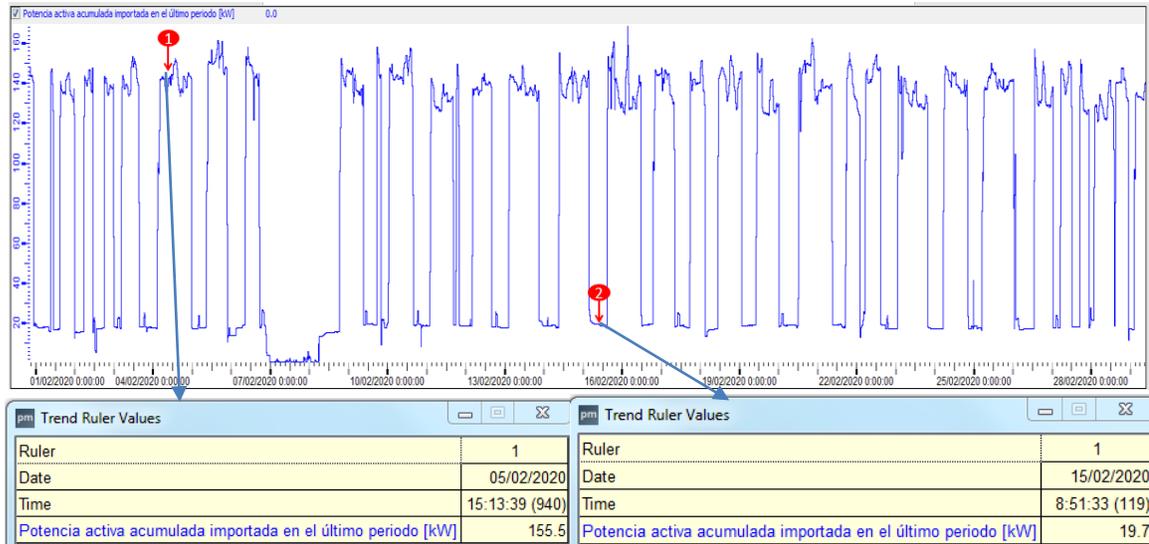
3.2 Análisis por áreas con bancos y sin bancos de condensadores.

Se propone hacer un seguimiento en los días de trabajo y reposo para captar las mediciones tanto de energía activa, reactiva, el factor de potencia y sus armónicos por áreas, sin el banco de condensadores y con el banco de condensadores, así se podrán identificar los cambios que se presenten por zona, en este seguimiento se analiza la tendencia de operación en un mes y se evidencia la similitud en el transcurso del año, se confirma que no presenta cambios significativos en la operación del área, dicha operación es constante sin paradas considerables (24 horas). Dando paso a los datos y análisis detallados.

3.3 Área carbón línea 2.

En la figura 3-1 se puede ver un mes de operación normal la variable de potencia activa en el área de carbón para la fabricación de Clinker L2, esta tendencia de operación se da por que el silo de carbón pulverizado decae su nivel de llenado, los operadores de sala de control manejan esta situación bajo una directriz establecida por el jefe de producción quien por experiencia, define que equipos aguas arriba del silo se debe encender para así cumplir el requerimiento técnico que nos dice que cuando este tenga 4 mts de vacío, para poder tener una continuidad de inyección de carbón las 24 horas del día al horno. Se puede observar que el área de carbón varía su potencia de 140 kW con valores picos de 160 kW en operación, cuando está se encuentra apagada queda una potencia fija de 18 kW en los equipos de inyección al horno.

Figura 3-1: Potencia activa carbón I2.

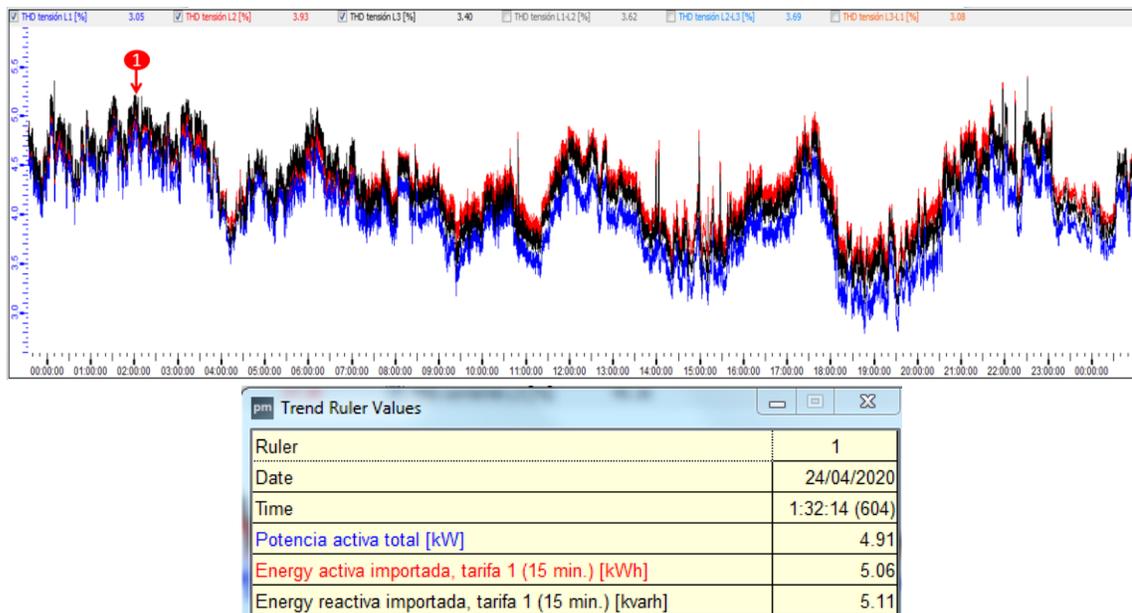


Fuente: Sentron Powermanager

3.3.1 Operación sin banco de condensadores

Para los armónicos en tensión en el área, se cumple con la norma establecida por la IEEE 519; donde su valor promedio se mantiene por debajo de un pico del 5%. Figura 3-2.

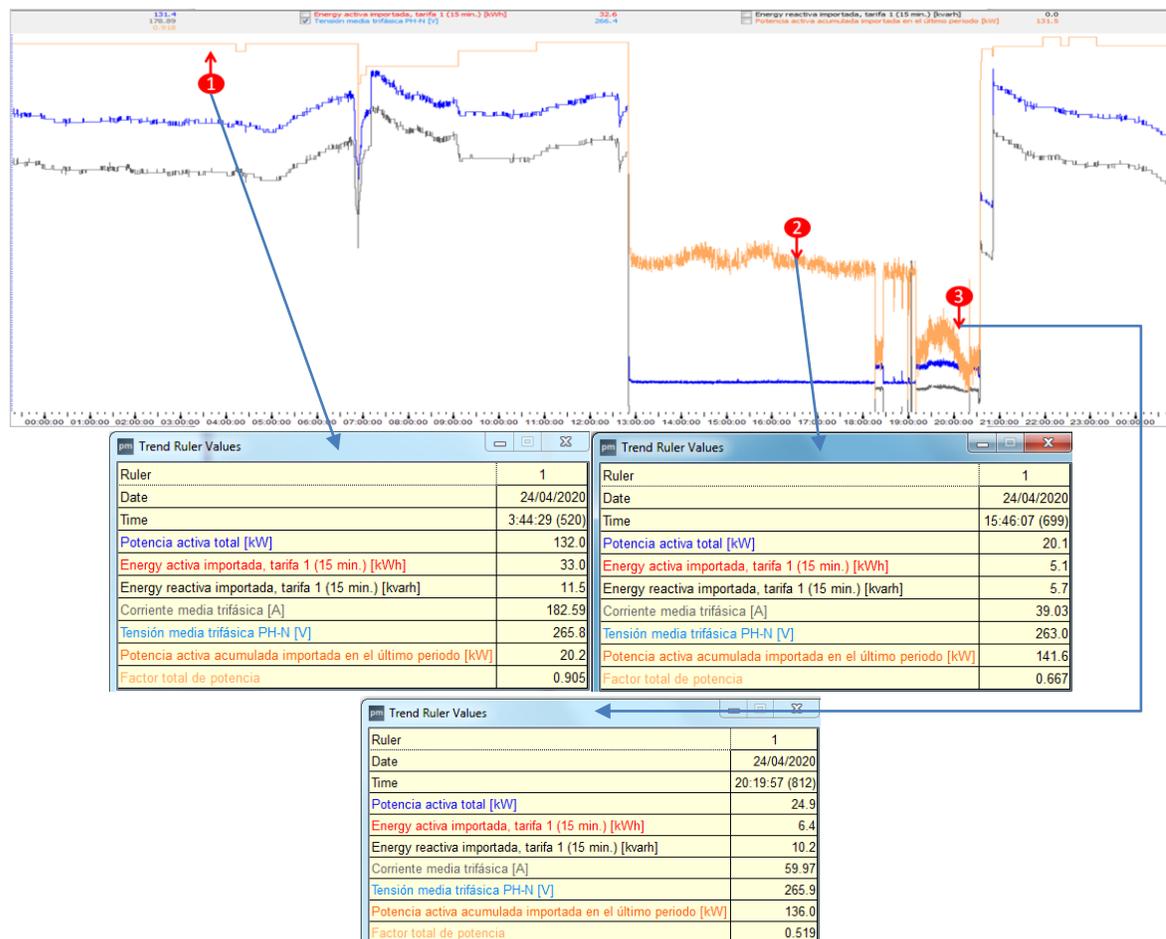
Figura 3-2: THD en tensión sin banco de condensadores carbón I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

El factor de potencia se comporta estable y se mantiene en 0.9 cuando la operación está en su rango nominal, pero se evidencia su caída cuando se detiene la molienda llegando a un valor de 0.6 (línea amarilla), además se compara con la energía activa en las mismas condiciones de operación de la potencia activa (color azul).

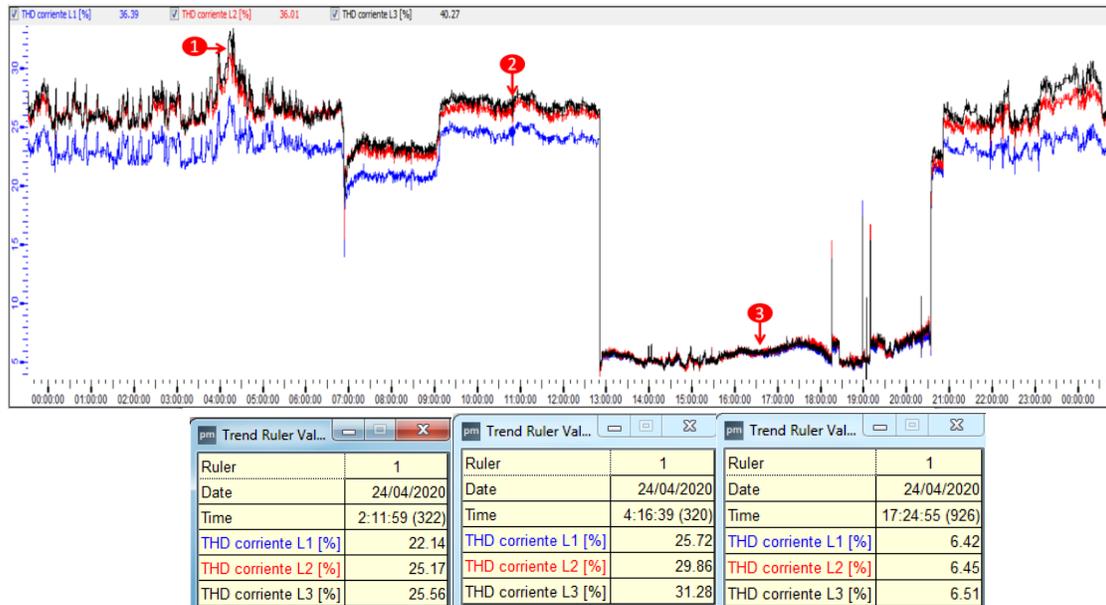
Figura 3-3: Factor de potencia sin banco de condensadores carbón I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Los THD en corriente de las tres fases se mantienen elevados por encima de 20%, esto se da mientras el molino se encuentra en operación superando los límites permitidos por norma IEEE 519, pero cuando el molino se detiene los armónicos caen a un THD en corriente del 6% valores normales de operación. Figura 3-4

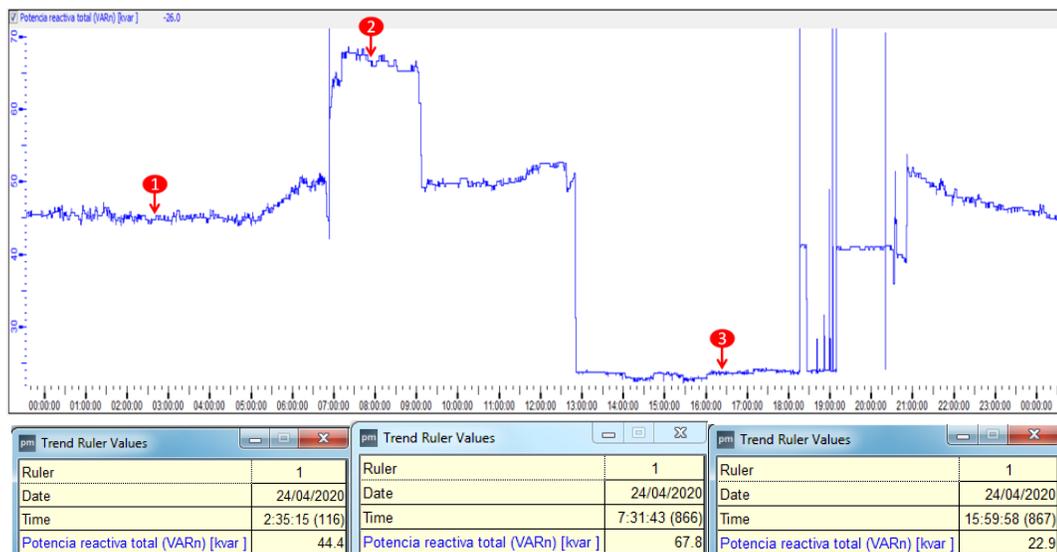
Figura 3-4: THD en corriente sin banco de condensadores carbón I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se denota el aumento de la energía reactiva inductiva generada en el rango de operación de la molienda, en contraparte se evidencia un remanente de 22 kVAr cuando la molienda se detiene. Figura 3-5.

Figura 3-5: Energía reactiva sin banco de condensadores carbón I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

3.3.2 Operación con banco de condensadores

La línea de carbón L2 tiene un diseño de 120 kVAr distribuidos con una línea fija de 30 kVAr, 6 líneas controlados de 15 kVAr; a continuación, una breve relación entre equipos y mediciones de potencia. Tabla 3-2.

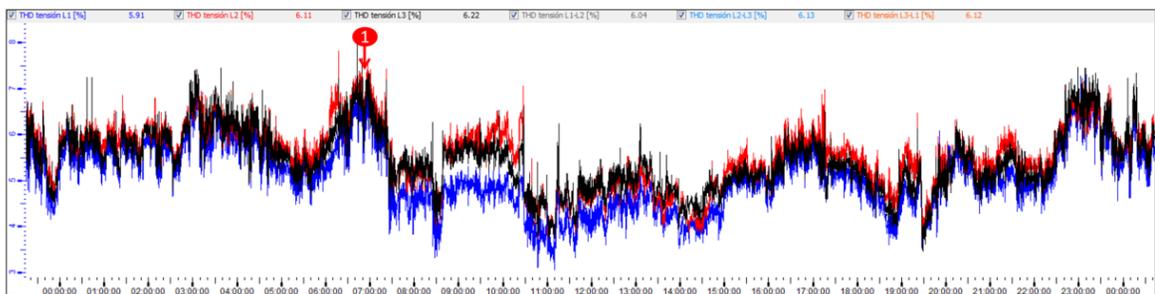
Tabla 3-2: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.

CARBON L2											
FS	1	POTENCIA ELECTRICA CONSUMIDAS DE TRABAJO EN %									
CARGA PREVISTA TRANSFORMADOR		Kva	Amp	Kvar	KW TOTAL						
		189,4	248,50	71,12	166,548						
ítem	Zona de Servicio	Equipo	Codigo	Potencia Electrica Consumida kW.	Voltaje	Factor de Potencia a Corregido	Amp	Potencia Electrica Aparente Consumida kVA.	Potencia Electrica Reactiva Consumida KVAR.	Factor de Potencia Corregido	Corrector de Potencia KVAR
1	TRITURACION DE CARBON LINEA 2	DOSIFICADORA TOLVA CARBON 2	BDF 00	0,7	440	0,94	1,0	0,7	0,3	0,97	0,1
2		BANDA ALIMENTACION A TRITURADORA CARBON 2	BTA 013	7,5	440	0,94	10,5	8,0	2,7	0,97	0,8
3		TRITURADORA CARBON 2	TRM 001	15	440	0,83	23,7	18,1	10,1	0,97	6,3
1	LINEA 2	ELEVADOR A SILO PRINCIPAL CARBON TRITURADO 2	ELC 013A	6	440	0,83	9,5	7,2	4,0	0,97	2,5
2		ELEVADOR A SILO AUXILIAR CARBON TRITURADO 2	ELC 013B g/l	1,1	440	0,83	1,7	1,3	0,7	0,97	0,5
3		VENTILADOR FILTRO SILO CARBON TRITURADO 2	VTC 045	5,5	440	0,83	8,7	6,6	3,7	0,97	2,3
4	MOLIENDA DE CARBON LINEA 2	DOSIFICADORA CARBON TRITURADO 2	BDF 019	0,55	440	0,83	0,9	0,7	0,4	0,97	0,2
5		ROTATIVA ALIMENTACION A MOLINO CARBON 2	VRO 026	5	440	0,83	7,9	6,0	3,4	0,97	2,1
6		MOLINO CARBON 2	MVP 003	75	440	0,83	118,6	90,4	50,4	0,95	25,7
7		SEPARADOR DINAMICO CARBON 2	SDM 002	7,5	440	0,83	11,9	9,0	5,0	0,97	3,2
8		BOMBA LUBRICACION SEPARADOR MOLINO CARBON 2	BLU 000	1,8	440	0,83	2,8	2,2	1,2	0,97	0,8
9		VENTILADOR FILTRO MOLINO CARBON 2	VTC 046	75	440	0,94	104,7	79,8	27,2	0,97	8,4
10		BOMBA DE REFRIGERACION CHUMACERAS VENT. FILTRO MOLINO 2	BLF 000	0,37	440	0,83	0,6	0,4	0,2	0,97	0,2
11		VENTILACION FORZADA MOTOR VENTILADOR FILTRO MOLINO 2	VTM 000	0,32	440	0,83	0,5	0,4	0,2	0,97	0,1
12		ROTATIVA DESCARGA FILTRO MOLINO A SILO PULVERIZADO CARBON 2	VRO 027	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
13		VENTILADOR FILTRO AUXILIAR DESPOLVAMIENTO CARBON 2	VTC 000	5,5	440	0,94	7,7	5,9	2,0	0,97	0,6
14		ROTATIVA FILTRO AUXILIAR DESPOLVAMIENTO CARBON 2	VRO 031	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
15	ALIMENTACION DE CARBON AL HORNO	ROMPE GRUMOS SILO CARBON PULVERIZADO 2	RGR 003	55	440	0,9	80,2	61,1	26,6	0,97	12,9
16		ROTATIVA A SILO PULMON CARBON PULVERIZADO 2	VRO 028	0,75	440	0,83	1,2	0,9	0,5	0,97	0,3
17		ROMPEGRUMOS SILO PULMON CARBON 2	RGR 004	0,75	440	0,86	1,1	0,9	0,4	0,97	0,3
18		ROTATIVA A DOSIFICADOR CARBON A QUEMADOR HORNO 2	VRO 030	0,44	440	0,86	0,7	0,5	0,3	0,97	0,2
19		DOSIFICADORA CARBON PULVERIZADO MOLINO 2	BDF 020	0,55	440	0,86	0,8	0,6	0,3	0,97	0,2
20		ROTATIVA CARBON A QUEMADOR HORNO 2	VRO 029	0,75	440	0,86	1,1	0,9	0,4	0,97	0,3
21		SOPLADOR TRANSPORTE CARBON QUEMADOR A HORNO 2	SPD 008	11	440	0,9	16,0	12,2	5,3	0,97	2,6
		TOTALES		277,58			414,2	315,6	146,5		71,1

Fuente: Autor.

El THD en tensión del área se comporta con picos de 7.10 % por el cual presenta una desviación fuera de la norma IEEE 519. Figura 3-6

Figura 3-6: THD en tensión con banco de condensadores carbón l2.



Trend Ruler Values	
Ruler	1
Date	19/02/2020
Time	6:55:50 (897)
THD tensión L1 [%]	6.91
THD tensión L2 [%]	7.10
THD tensión L3 [%]	6.92

Fuente: Sentron Powermanager.

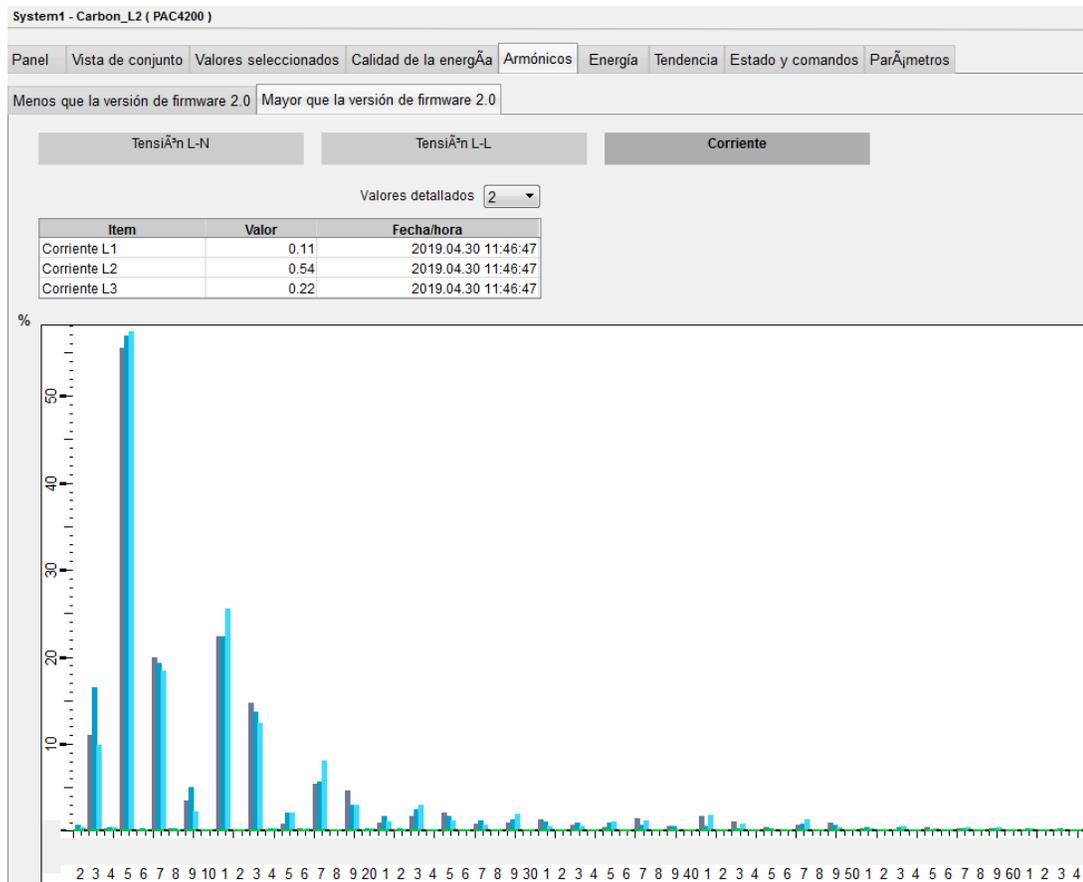
Se demuestra como el factor de potencia en (color amarillo) se mantiene en 0.93 mientras el molino está en operación y baja a 0.83 cuando se detiene. Figura 3-7.

Figura 3-7: Factor de potencia con banco de condensadores carbón I2.



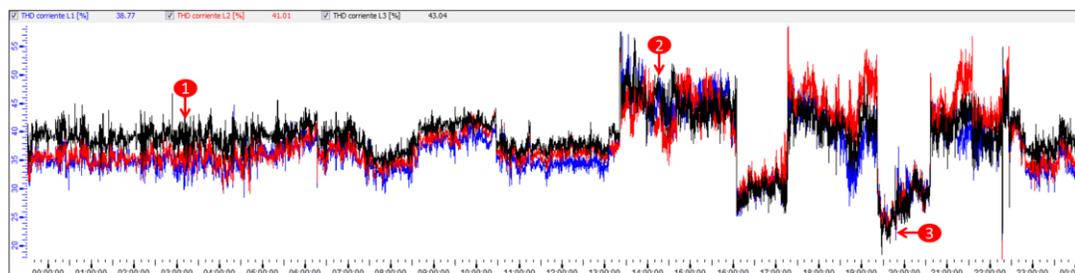
Fuente: Sentron Powermanager.

Se presenta el espectro armónico de corriente para esta área. Se puede evidenciar que los armónicos que están afectando el área de carbón línea 2 corresponden al armónico 5 que es el predominante. Figura 3-8.

Figura 3-8: Espectro armónico de corriente con banco de condensadores carbón I2.

Fuente: Sentron Powermanager.

Se ve como el THD en corriente están en promedio con un valor del 33%, mientras el molino está en operación, al detenerse los THD se vuelven más inestables y se mantienen presentes. Figura 3-9.

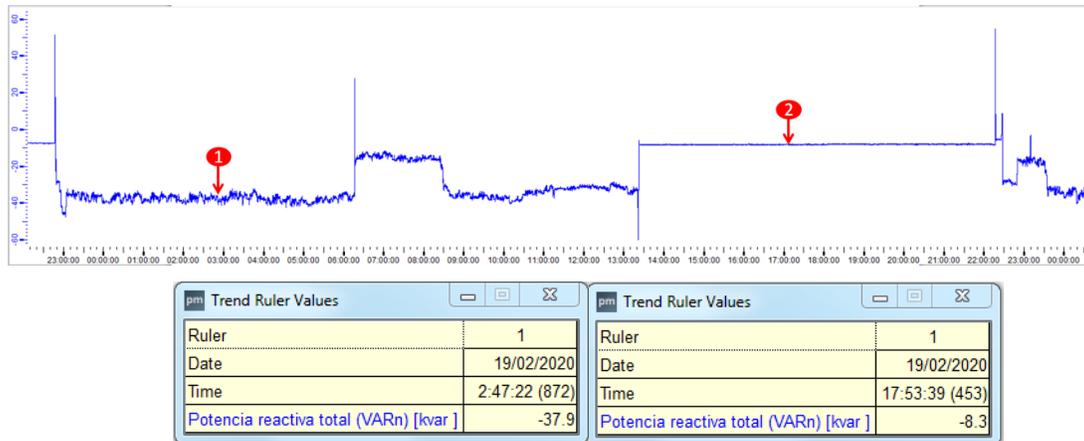
Figura 3-9: THD en corriente con banco de condensadores carbón I2.

Ruler	1	Ruler	1	Ruler	1
Date	19/02/2020	Date	19/02/2020	Date	19/02/2020
Time	3:57:32 (323)	Time	14:58:11 (239)	Time	16:11:41 (767)
THD corriente L1 [%]	33.10	THD corriente L1 [%]	47.06	THD corriente L1 [%]	27.31
THD corriente L2 [%]	33.74	THD corriente L2 [%]	51.16	THD corriente L2 [%]	27.93
THD corriente L3 [%]	37.31	THD corriente L3 [%]	45.16	THD corriente L3 [%]	27.09

Fuente: Sentron Powermanager.

La tendencia muestra que el molino en operación se recarga con energía reactiva capacitiva con un valor de -37 (kVAr) capacitivo, al detenerse el molino se regula la energía reactiva capacitiva con un valor de -8.3 kVAr. Figura 3-10.

Figura 3-10: Energía reactiva con banco de condensadores carbón I2.

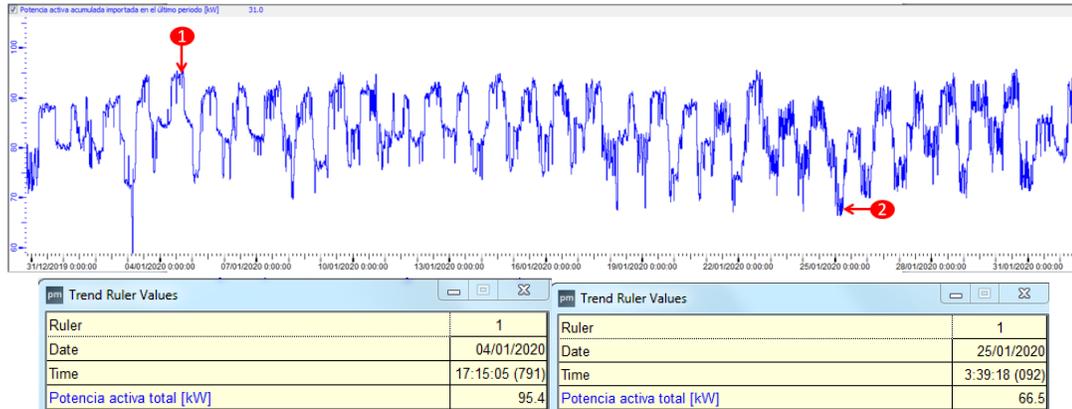


Fuente: Sentron Powermanager.

3.4 Área Homogenización

La comparacion de un mes de operación en energía activa del area de homogenizacion, todos los equipos relacionados a esta area se mantienen trabajando las 24 horas, se evidencia una fluctuacion de energía periodica aproximadamente cada 12 horas que no corresponden al paro de equipos. Figura 3-11.

Figura 3-11: Potencia activa homogenización I2.

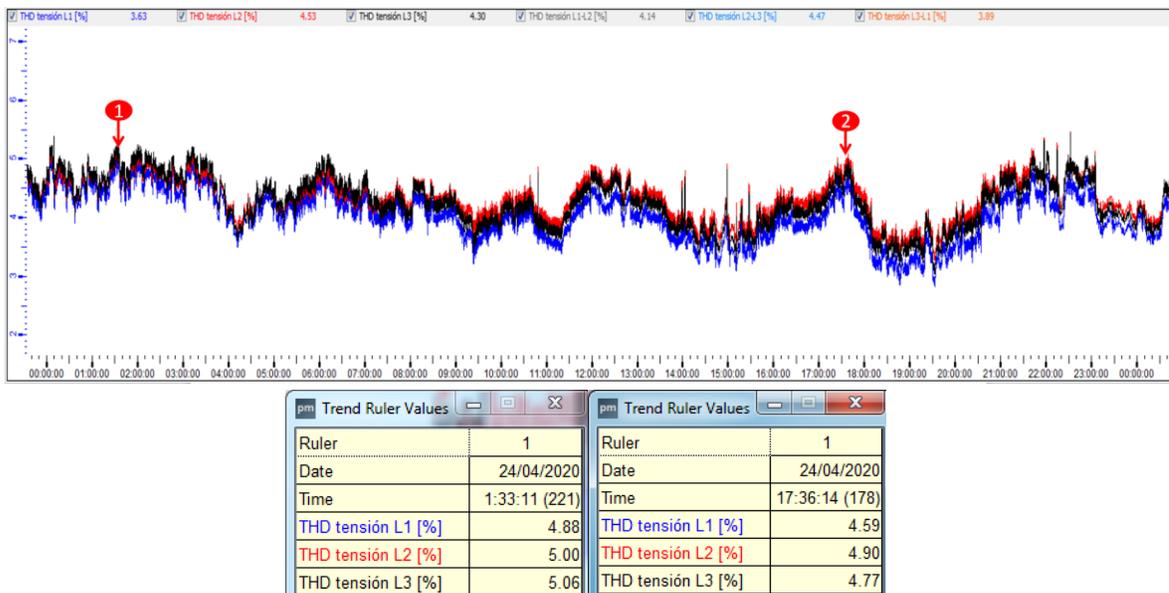


Fuente: Sentron Powermanager.

3.4.1 Sin banco de condensadores

Para los armónicos en tensión en el área, se cumple con la norma establecida por la IEEE 519; donde su valor promedio se mantiene por debajo de un pico del 5%. Figura 3-12.

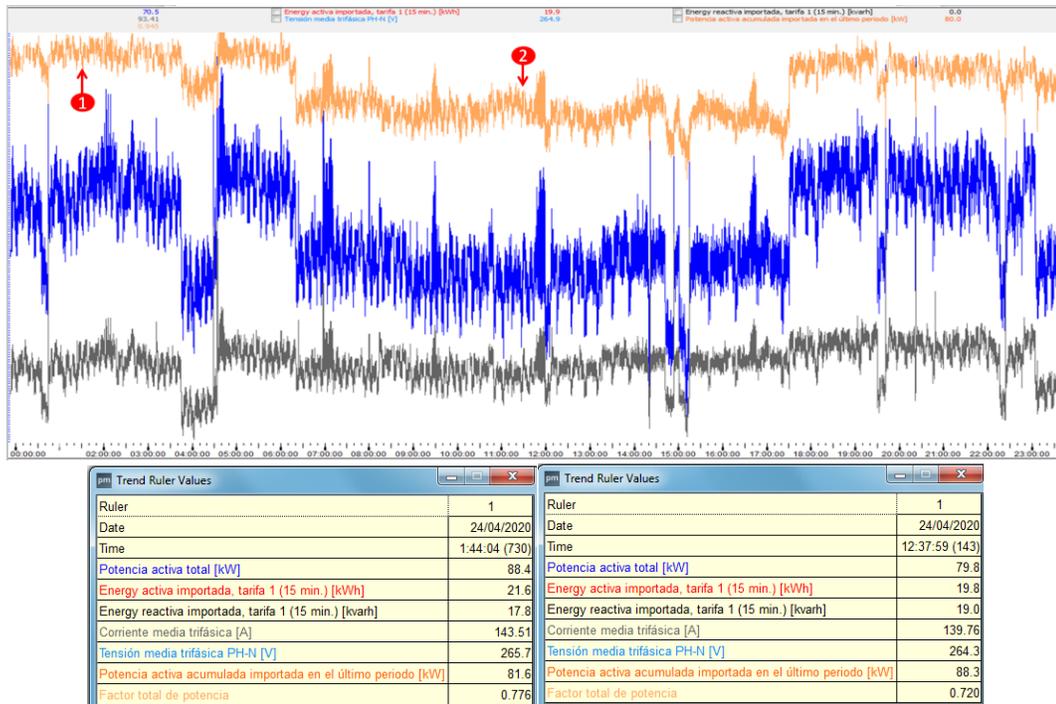
Figura 3-12: THD en tensión sin banco de condensadores homogenización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

El factor de potencia (color amarillo) se comporta con rizado e inestable y se mantiene entre valores de 0.77 y 0.72 en completa operación, además se compara con la energía activa en las mismas condiciones de operación (color azul). Figura 3-13.

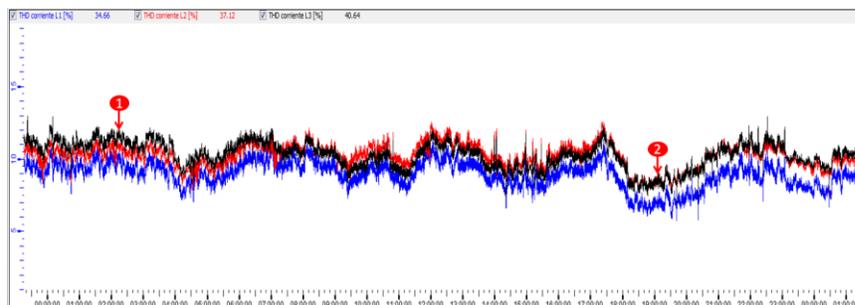
Figura 3-13: Factor de potencia sin banco de condensadores homogenización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Los THD en corriente de las tres fases se mantienen por debajo del 15%, esta tendencia se da en la operación continua permaneciendo dentro de los límites permitidos por norma IEEE 519. Figura 3-14.

Figura 3-14: THD en corriente sin banco de condensadores homogenización.

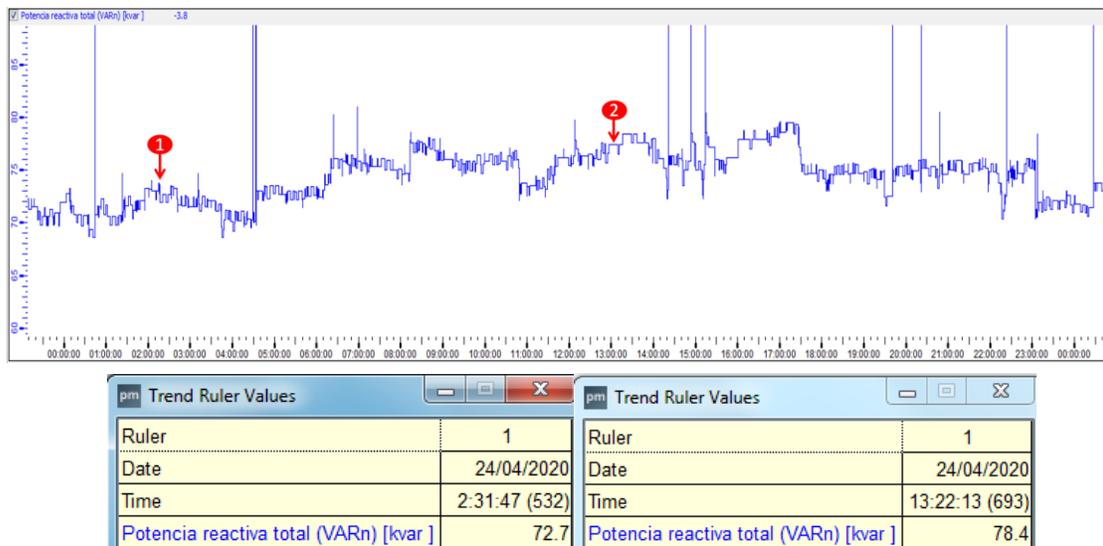


pm Trend Ruler Val...		pm Trend Ruler Val...	
Ruler	1	Ruler	1
Date	24/04/2020	Date	24/04/2020
Time	2:04:05 (832)	Time	19:05:11 (236)
THD corriente L1 [%]	10.15	THD corriente L1 [%]	7.43
THD corriente L2 [%]	11.03	THD corriente L2 [%]	8.61
THD corriente L3 [%]	11.82	THD corriente L3 [%]	8.76

Fuente: Sentron Powermanager.

Se denota el aumento de la energía reactiva inductiva generada con la constante de operación normal de homogenización, se evidencia una variación entre 72 y 78 kVAr inductivos. Figura 3-15.

Figura 3-15: Energía reactiva sin banco de condensadores homogenización.



Fuente: Sentron Powermanager.

3.4.2 Con banco de condensadores

La línea de Homogenización tiene diseñado de 90 kVAr distribuidos con una línea fija de 15 kVAr, 3 líneas controlados de 15 kVAr y 1 una línea controlado de 30 kVAr, a continuación, una breve relación entre equipos y mediciones de potencia. Tabla 3-3.

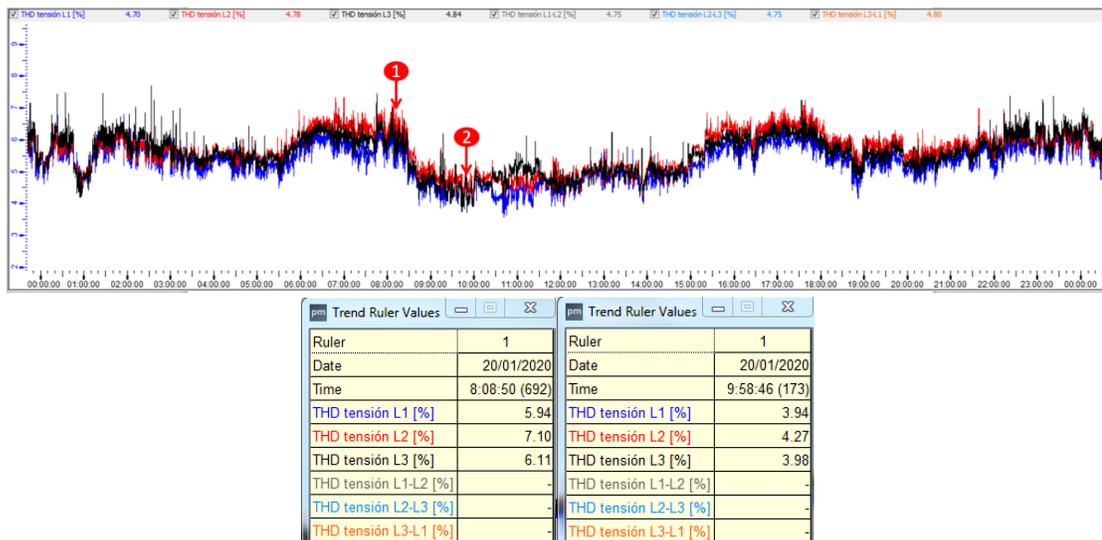
Tabla 3-3: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.

HOMOGENIZACION											
FS	1	POTENCIA ELECTRICA CONSUMIDAS DE TRABAJO EN %									
CARGA PREVISTA TRANSFORMADOR		Kva	Amp	Kvar	KW TOTAL						
		127.9	235.02	80.44	153.475						
Ítem	Zona de Servicio	Equipo	Codigo	Potencia Electrica Consumida kW.	Voltaje	Factor de Potencia a Corregido	Amp	Potencia Electrica Aparente Consumida kVA.	Potencia Electrica Reactiva Consumida KVAR.	Factor de Potencia Corregido	Corrector de Factor de Potencia KVAR
1	HOMOGENIZACION	SIN FIN DESCARGA TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	TSF 004	0.75	440	0.83	1.2	0.9	0.5	0.96	0.3
2		ROTATIVA DESCARGA SINFIN TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2		2	440	0.83	3.2	2.4	1.3	0.97	0.8
3		TRANSPORTADOR TORRE ENFRIAMIENTO GASES 2 ASILO 2	TRA 002	4	440	0.83	6.3	4.8	2.7	0.97	1.7
4		ELEVADOR MOTOR PRINCIPAL A SILO HARINA 2	ELC 010	18.7	440	0.84	29.2	22.3	12.1	0.97	7.4
5		ELEVADOR MOTOR AUXILIAR A SILO HARINA 2	ELC 010 gil	1.5	440	0.79	2.5	1.9	1.2	0.97	0.8
6		VENTILADOR AERO ELEVADOR A SILO HARINA 2	VTC 031	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.97	0.9
7		VENTILADOR 1 AEROS DISTRIBUCION A SILO HARINA 2	VTC 032	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.97	0.9
8		VENTILADOR 2 AEROS DISTRIBUCION A SILO HARINA 2	VTC 050	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.97	0.9
9		VENTILADOR FILTRO A SILO HARINA 2	VTC 033	11	440	0.83	17.4	13.3	7.4	0.97	4.6
10		SOPLADOR 1 FLUIDIFICACION SILO HARINA 2	SPD 006	45	440	0.87	67.9	51.7	25.5	0.97	14.2
11		SOPLADOR 2 FLUIDIFICACION SILO HARINA 2	SPD 009	45	440	0.87	67.9	51.7	25.5	0.97	14.2
12		VENTILADOR AERO DESCARGA SILO DE HARINA 2	VTC 034	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.98	1.1
13		SOPLADOR SILO PASO HARINA 2	SPD 007	22	440	0.86	33.6	25.6	13.1	0.98	8.6
14		DOSIFICADOR MULTICOR HARINA HORNO 2	DSF 001	1.3	440	0.8	2.1	1.6	1.0	0.98	0.7
15		ROTATIVA DOSIFICADOR MULTICOR HARINA HORNO 2	VRO 022	2	440	0.73	3.6	2.7	1.9	0.98	1.5
16		VENTILADOR AXIAL ROTATIVA MULTICOR CORIOLIS		1	440	0.82	1.6	1.2	0.7	0.98	0.5
17		VENTILADOR AERO DOSIFICADOR HARINA A HORNO 2	VTC 035	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.98	1.1
18		ELEVADOR 1 MOTOR PRINCIPAL A TORRE 2	ELC 011A	18.5	440	0.86	28.2	21.5	11.0	0.98	7.2
19		ELEVADOR 1 MOTOR AUXILIAR A TORRE 2	ELC 011B	1.5	440	0.79	2.5	1.9	1.2	0.98	0.9
20		ELEVADOR 2 MOTOR PRINCIPAL A TORRE 2	ELC 012A	18.5	440	0.86	28.2	21.5	11.0	0.98	7.2
21		ELEVADOR 2 MOTOR AUXILIAR A TORRE 2	ELC 012B	1.5	440	0.79	2.5	1.9	1.2	0.98	0.9
22		VENTILADOR FILTRO DESPOLVAMIENTO ELEVADORES A TORRE 2	VTC 036	5.5	440	0.87	8.3	6.3	3.1	0.98	2.0
23		VENTILADOR AERO A ROTATIVA ALIMENTACION TORRE 2	VTC 038	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.98	1.1
24		ROTATIVA ALIMENTACION A TORRE PRECALENTADORA 2	VRO 024	1.5	440	0.8	2.5	1.9	1.1	0.98	0.8
TOTALES				219.25			335.7	255.9	131.5		80.4

Fuente: Autor.

El THD en tensión del área se comporta con picos de 7.10 % por el cual presenta una desviación fuera de la norma IEEE 519. Figura 3-6.

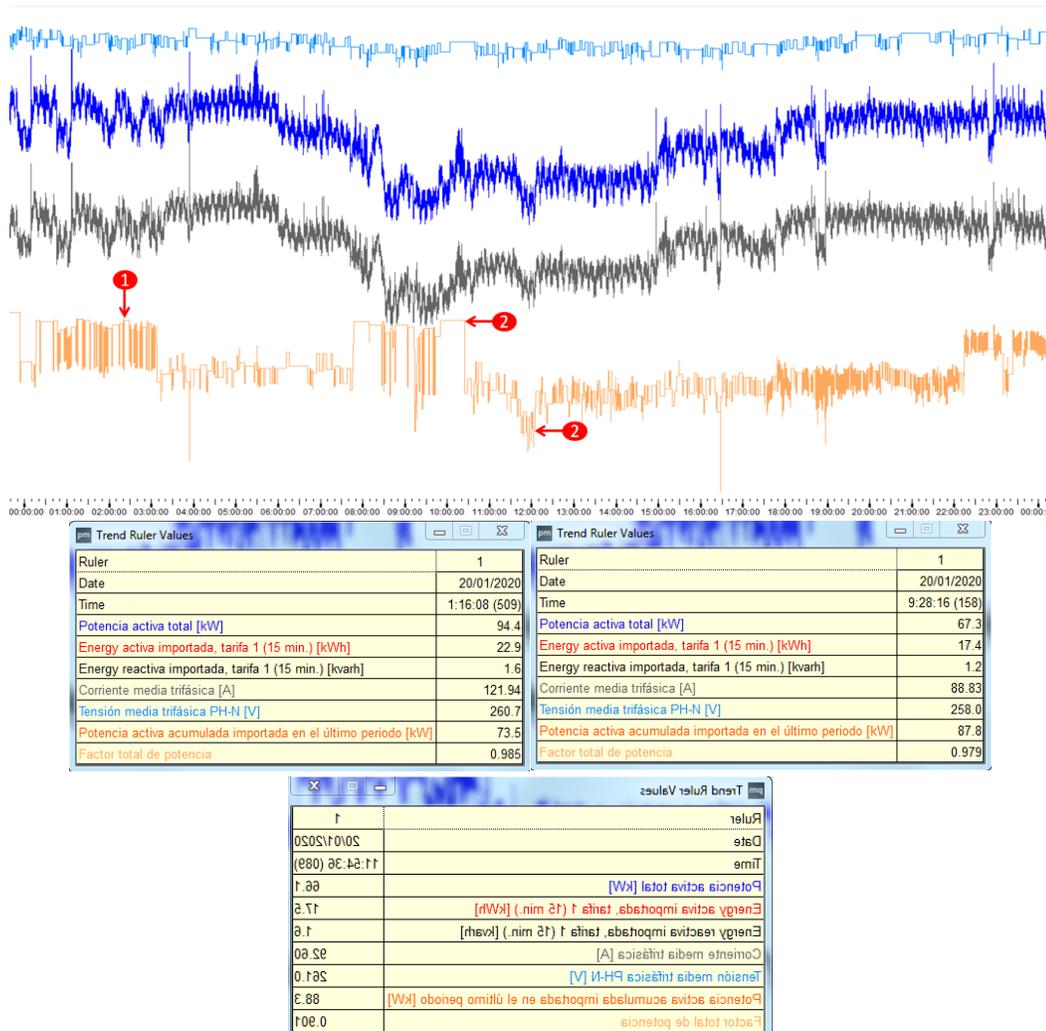
Figura 3-16: THD en tensión con banco de condensadores homogenización.



Fuente: Sentron Powermanager.

El factor de potencia (color amarillo) se comporta con rizado e inestable y se mantiene entre valores de 0.77 y 0.72 en completa operación, además se compara con la energía activa en las mismas condiciones de operación (color azul). Figura 3-13.

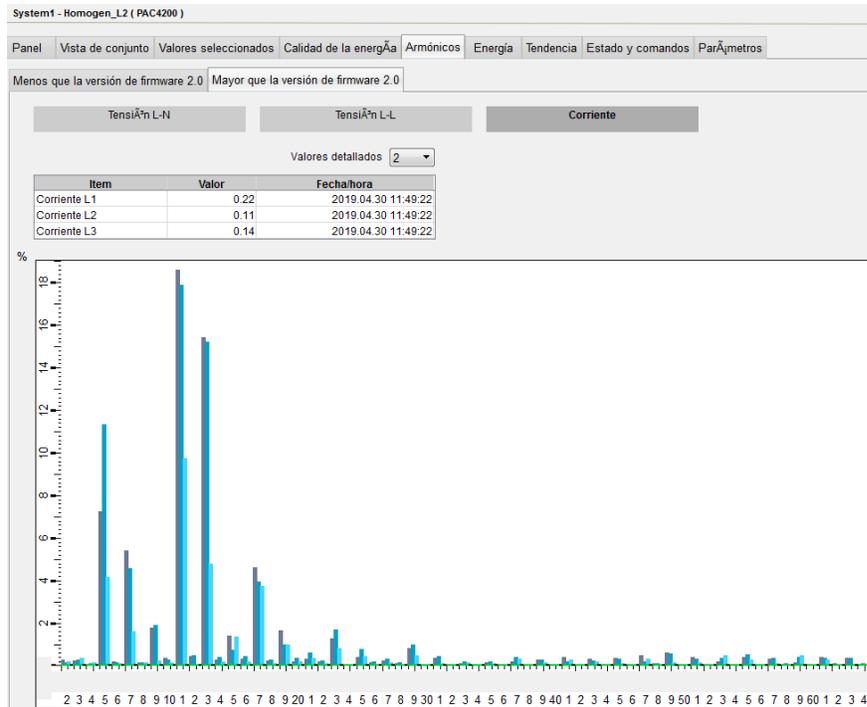
Figura 3-17: Factor de potencia con banco de condensadores homogenización.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se presenta el espectro armónico de corriente para esta área. Se puede evidenciar que los armónicos que están afectando el área de homogenización línea 2 corresponden al armónico 11 y 13 que son los que predominan. Figura 3-16.

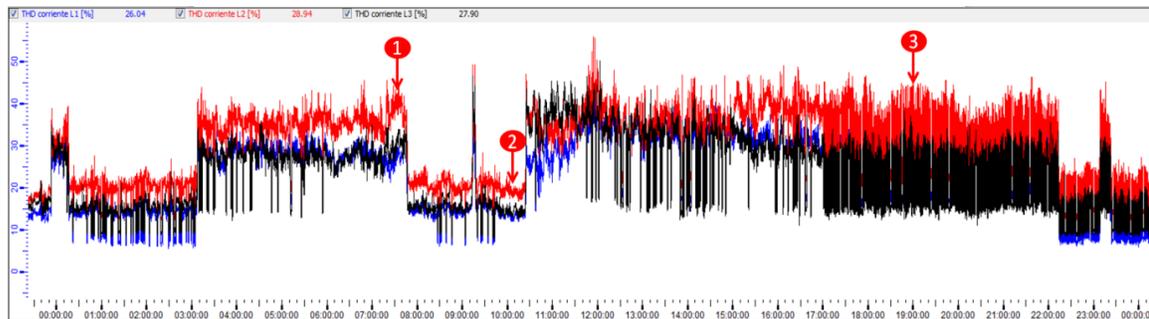
Figura 3-18: Espectro armónico de corriente homogenización.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se ve como el THD en corriente están con picos de 42%, con fluctuaciones de 17% y 34% este con variaciones de rizados, con el área en operación normal. Figura 3-19.

Figura 3-19: THD en corriente con banco de condensadores homogenización.



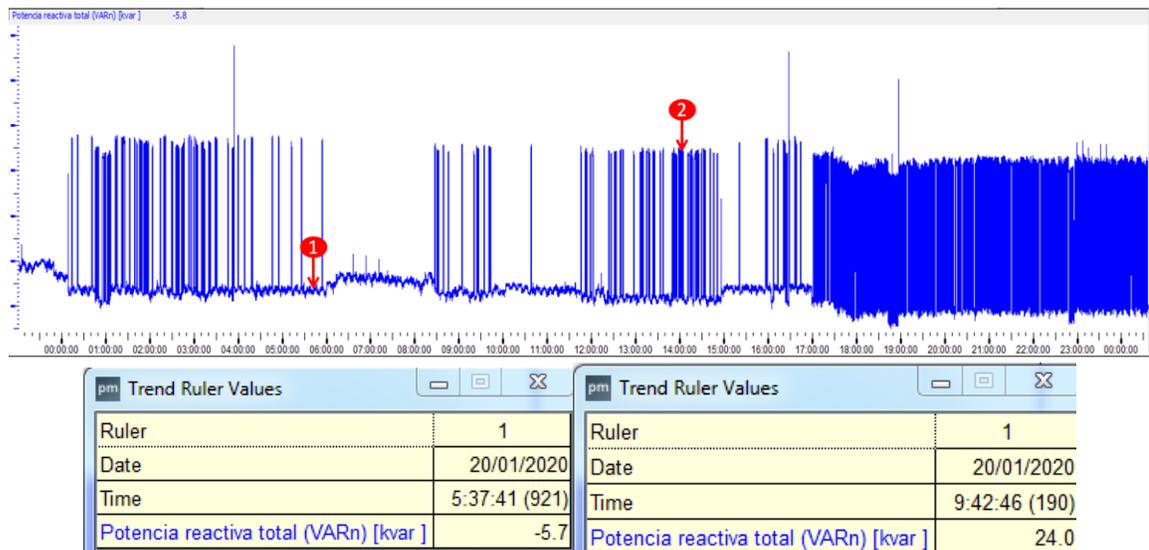
pm Trend Ruler Values		pm Trend Ruler Values	
Ruler	1	Ruler	1
Date	20/01/2020	Date	20/01/2020
Time	7:35:20 (558)	Time	10:15:53 (331)
Potencia reactiva total (VARn) [kvar]	29.15	Potencia reactiva total (VARn) [kvar]	13.53
THD corriente L2 [%]	42.20	THD corriente L2 [%]	17.80
THD corriente L3 [%]	33.76	THD corriente L3 [%]	13.46

pm Trend Ruler Values	
Ruler	1
Date	20/01/2020
Time	17:38:48 (449)
Potencia reactiva total (VARn) [kvar]	31.63
THD corriente L2 [%]	44.09
THD corriente L3 [%]	27.84

Fuente: Sentron Powermanager.

La tendencia presente en el área de operación, muestra las variaciones entre -5.7 kVAR y 24 kVAR, esto se debe a la configuración y mando del controlador de energía reactiva, que con mínimos cambios de potencia se afecta en su configuración. Figura 3-20.

Figura 3-20: Energía reactiva con banco de condensadores homogenización.

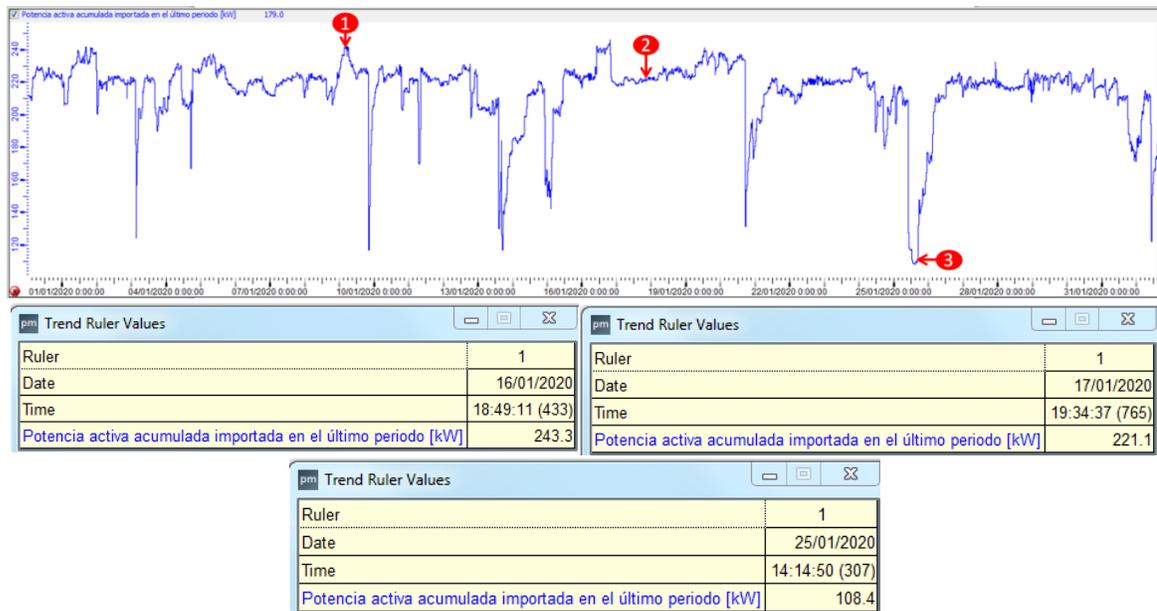


Fuente: Sentron Powermanager.

3.5 Área Clinkerización

La comparación de un mes de operación en energía activa del área de homogenización, todos los equipos relacionados a esta área se mantienen trabajando las 24 horas, se denota una tendencia que no es estable, esto se debe al horno por tener un movimiento rotatorio el material tiene un balanceo generando inestabilidad sobre el motor encargado de girar el horno, se tienen picos de caída esto se debe por atascamientos de material en la torre precalentadora, el operador de sala de control lleva a los valores mínimos la operación del horno. Figura 3-21.

Figura 3-21: Potencia activa Clinkerización I2.

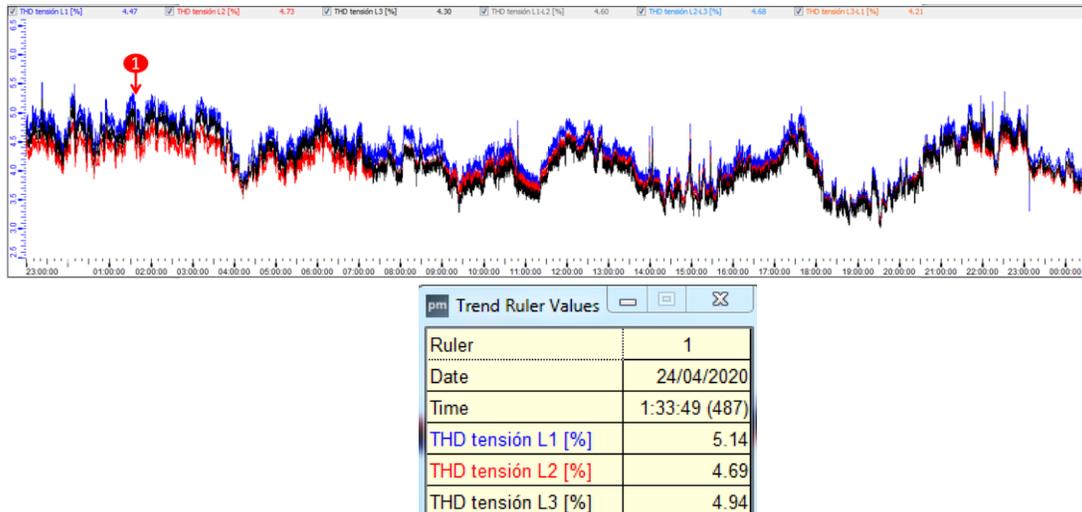


Fuente: Sentron Powermanager.

3.5.1 Sin banco de condensadores

Para los armónicos en tensión en el área, se cumple con la norma establecida por la IEEE 519; donde su valor promedio se mantiene por debajo de un pico del 5%. Figura 3-22.

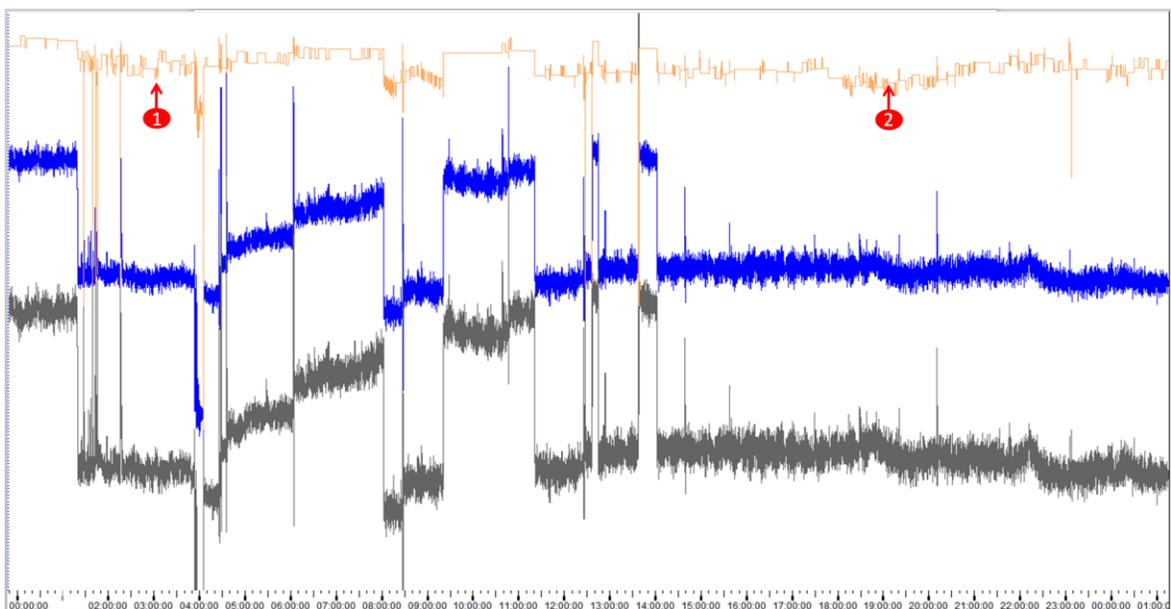
Figura 3-22: THD en tensión sin banco de condensadores clinkerización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

El factor de potencia se comporta estable y se mantiene en 0.9 cuando la operación está en su rango nominal, pero se evidencia su caída cuando se detiene la molienda llegando a un valor de 0.6 (línea amarilla), además se compara con la energía activa en las mismas condiciones de operación de la potencia activa (color azul). Figura 3-23.

Figura 3-23: Factor de potencia sin banco de condensadores clinkerización I2.

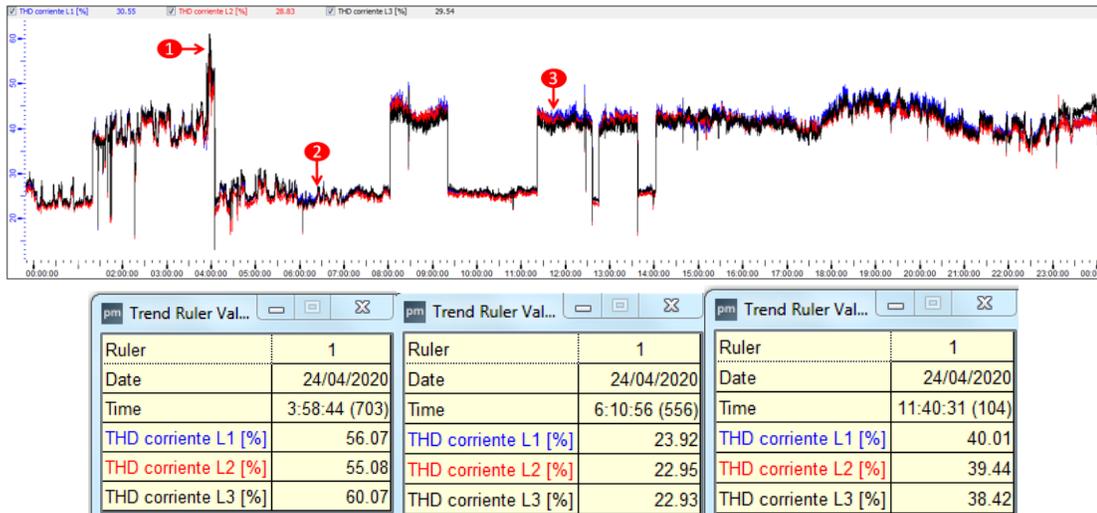


Trend Ruler Values		Trend Ruler Values	
Ruler	1	Ruler	1
Date	24/04/2020	Date	24/04/2020
Time	2:53:47 (887)	Time	17:01:54 (611)
Potencia activa total [kW]	156.9	Potencia activa total [kW]	162.0
Energy activa importada, tarifa 1 (15 min.) [kWh]	37.6	Energy activa importada, tarifa 1 (15 min.) [kWh]	39.6
Energy reactiva importada, tarifa 1 (15 min.) [kvarh]	6.9	Energy reactiva importada, tarifa 1 (15 min.) [kvarh]	8.8
Corriente media trifásica [A]	219.43	Corriente media trifásica [A]	228.59
Tensión media trifásica PH-N [V]	266.0	Tensión media trifásica PH-N [V]	265.5
Potencia activa acumulada importada en el último periodo [kW]	157.0	Potencia activa acumulada importada en el último periodo [kW]	148.6
Factor total de potencia	0.893	Factor total de potencia	0.890

Fuente: Sentron Powermanager.

Los THD en corriente de las tres fases se mantienen elevados por encima de 20%, esto se da en la operación constante se presentan fluctuaciones de armónicos cuando hay cambios de energía activa, cuando se estabiliza el horno los armónicos se mantienen por encima de 35% superando los límites permitidos por norma IEEE 519, Figura 3-24

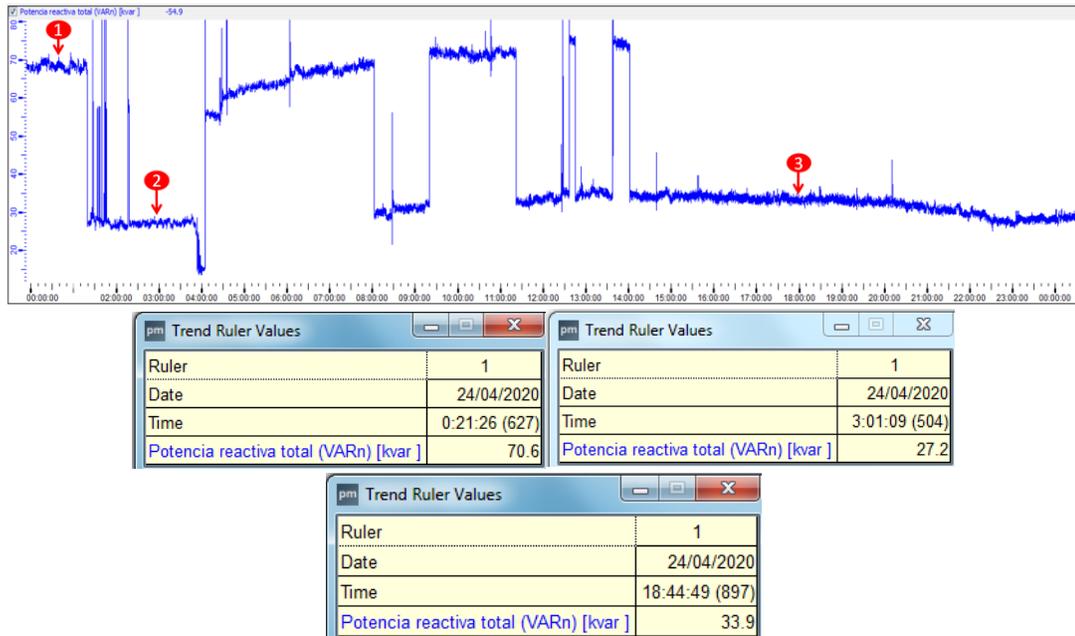
Figura 3-24: THD en corriente sin banco de condensadores.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se denota el aumento de la energía reactiva inductiva y las fluctuaciones que se generan por las variaciones de energía activa al reducirse está, en la operación se presentan picos altos de 70 kVar a la permanente en operación estable de 33.9 kVar. Figura 3-25.

Figura 3-25: Energía reactiva sin banco de condensadores clinkerización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

3.5.2 Con banco de condensadores

La línea de Clinkerización tiene un diseño de 165 kVAR distribuidos con una línea fijo de 30 kVAR, 3 líneas controlados de 30 kVAR y 3 líneas controlados de 15 kVAR, a continuación, una breve relación entre equipos y mediciones de potencia. Tabla 3-2.

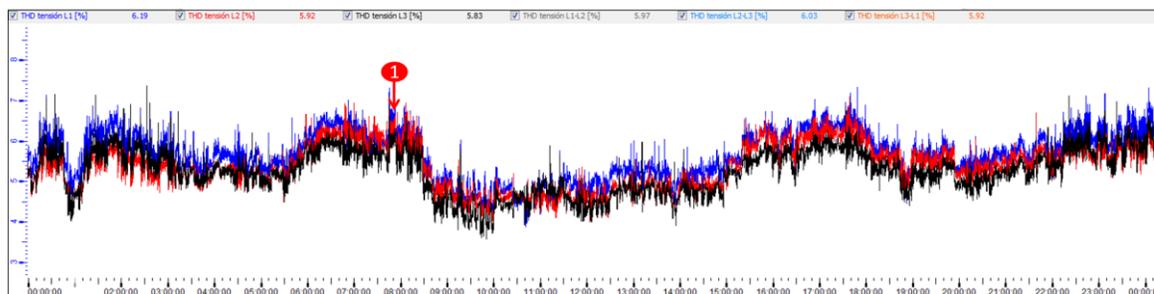
Tabla 3-4: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.

CLINKER L2												
FS	1			POTENCIA ELECTRICA CONSUMIDAS DE TRABAJO EN %								
CARGA PREVISTA TRANSFORMADOR				Kva	Amp	Kvar	KW TOTAL					
				279.1	366.17	90.76	258.2335					
Ítem	Zona de Servicio	Equipo	Codigo	Potencia Electrica Consumida kW.	Voltaje	Factor de Potencia a Corregido	Amp	Potencia Electrica Aparente Consumida KVA.	Potencia Electrica Reactiva Consumida KVAR.	Factor de Potencia Corregido	Corrector de Potencia KVAR	
1	F A B R I C A C I O N C L I N K E R L 2	VENTILADOR TIRO HORNO 2	VTC 039	315	440	0.93	444.4	338.7	124.5	0.95	21.0	
2		VENTILACION FORZADA VENTILADOR TIRO HORNO 2			0.37	440	0.83	0.6	0.4	0.2	0.97	0.2
3		BOMBA 1 SISTEMA DE LUBRICACION VENT. DE TIRO			0.75	440	0.83	1.2	0.9	0.5	0.97	0.3
1		BOMBA 2 SISTEMA DE LUBRICACION VENT. DE TIRO			0.75	440	0.83	1.2	0.9	0.5	0.97	0.3
2		BOMBA DE REFRIGERACION CHUMACERAS VENT. TIRO HORNO 2			0.37	440	0.83	0.6	0.4	0.2	0.97	0.2
3		VENTILADOR 1 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 009		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
4		VENTILADOR 2 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 010		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
5		VENTILADOR 3 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 011		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
6		VENTILADOR 4 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 012		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
7		VENTILADOR 5 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 013		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
8		VENTILADOR 6 TORRE ENFRIAMIENTO GASES HORNO 2	VTA 014		7.5	440	0.83	11.9	9.0	5.0	0.97	3.2
9		SOPLADOR AIRE PRIMARIO QUEMADOR HORNO	VTC 042		45	440	0.93	63.5	48.4	17.8	0.98	8.6
10		VENTILACION FORZADA MOTOR 1 SOPLADORAIRE PRIMARIO HORNO			0.5	440	0.83	0.8	0.6	0.3	0.98	0.2
11		VENTILACION FORZADA MOTOR 2 SOPLADORAIRE PRIMARIO HORNO			0.5	440	0.83	0.8	0.6	0.3	0.98	0.2
12		BOMBA ACPM A QUEMADOR HORNO 2	BOM 004		0.5	440	0.83	0.8	0.6	0.3	0.98	0.2
13		HORNO 2	HRO 002		150	440	0.94	209.4	159.6	54.4	0.98	24.0
14		VENTILACION FORZADA MOTOR HORNO			0.5	440	0.83	0.8	0.6	0.3	0.98	0.2
15		GIRO LENTO HORNO 2	GIL 003		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.98	0.7
16		BOMBA 1 SISTEMA HIDRAULICO ROLDANAS HORNO 2	BOM 003		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.98	0.7
17		BOMBA 2 SISTEMA HIDRAULICO ROLDANAS HORNO 2	BOM 003		0.37	440	0.83	0.6	0.4	0.2	0.98	0.2
18		BOMBA SISTEMA REFRIGERACION CHUMACERAS HORNO 2	BOM 003		2.2	440	0.95	3.0	2.3	0.7	0.98	0.3
19		VENTILADOR 1 REFRIGERACION CHAPA HORNO 2	VTA 005		0.5	440	0.95	0.7	0.5	0.2	0.98	0.1
20		VENTILADOR 2 REFRIGERACION CHAPA HORNO 2	VTA 006		0.5	440	0.95	0.7	0.5	0.2	0.98	0.1
21		VENTILADOR 3 REFRIGERACION CHAPA HORNO 2	VTA 007		0.5	440	0.95	0.7	0.5	0.2	0.98	0.1
22		VENTILADOR 4 REFRIGERACION CHAPA HORNO 2	VTA 008		0.5	440	0.83	0.8	0.6	0.3	0.98	0.2
23		VENTILADOR SELLO SALIDA HORNO 2	VTC 041		110	440	0.94	153.6	117.0	39.9	0.96	7.8
24		ENFRIADOR CLINKER 2	EFR 002		55	440	0.94	76.8	58.5	20.0	0.96	3.9
25		VENTILACION FORZADA MOTOR ENFRIADOR	EFR 002		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.96	0.6
26	TOMA MUESTRAS AERO DERCARGA CICLONES CRUDO	TMM-005		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.96	0.6	
27	TOMA MUESTRAS AERO DERCARGA FILTRO HARINA	TMM-006		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.96	0.6	
28	TOMA MUESTRAS DERCARGA ACONDICIONADOR TORRE	TMM-007		1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.96	0.6	
TOTALES				737.81			1046.2	797.3	297.5		90.8	

Fuente: Autor.

El THD en tensión del área se comporta con picos de 6.71 % por el cual presenta una desviación fuera de la norma IEEE 519. Figura 3-27.

Figura 3-26: THD en tensión con banco de condensadores clinkerización I2.

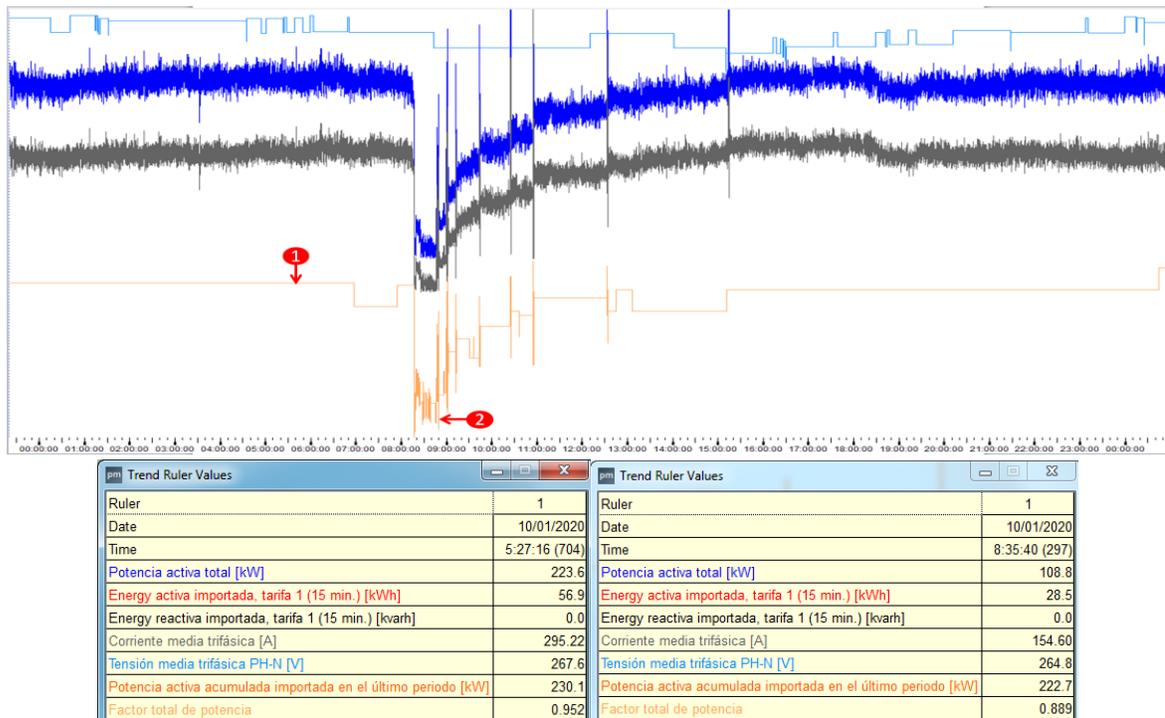


Trend Ruler Values	
Ruler	1
Date	20/01/2020
Time	8:06:14 (251)
THD tensión L1 [%]	6.71
THD tensión L2 [%]	6.56
THD tensión L3 [%]	6.19

Fuente: Sentron Powermanager.

Se demuestra como el factor de potencia en (color amarillo) se mantiene en 0.95 mientras el horno está en operación estable y baja a 0.88 cuando el horno se atasca. Figura 3-28.

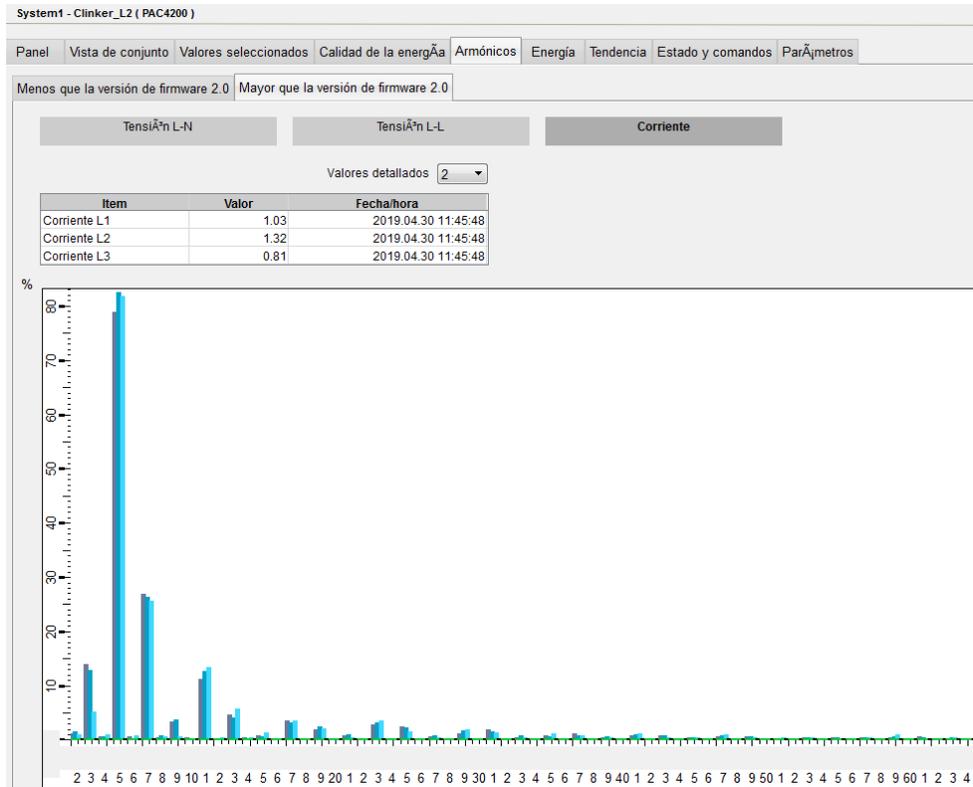
Figura 3-27: Factor de potencia con banco de condensadores clinkerización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se presenta el espectro armónico de corriente para esta área. Se puede evidenciar que los armónicos que están afectando el área de clinkerización línea 2 corresponden al armónico 5 que es el que predomina. Figura 3-26

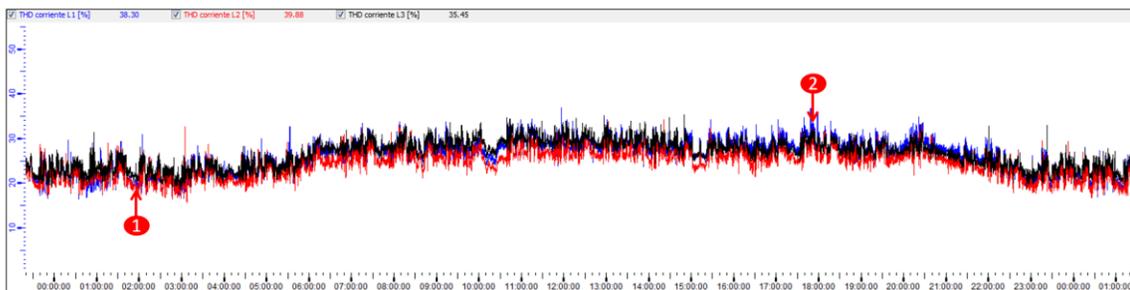
Figura 3-28: Espectro armónico de corriente con condensadores clinkerización I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se ve como el THD en corriente están con un valor superior del 20%, con operación normal de clinkerización, parámetros por fuera de la norma IEEE 519. Figura 3-30.

Figura 3-29: THD en corriente con banco de condensadores clinkerización I2.

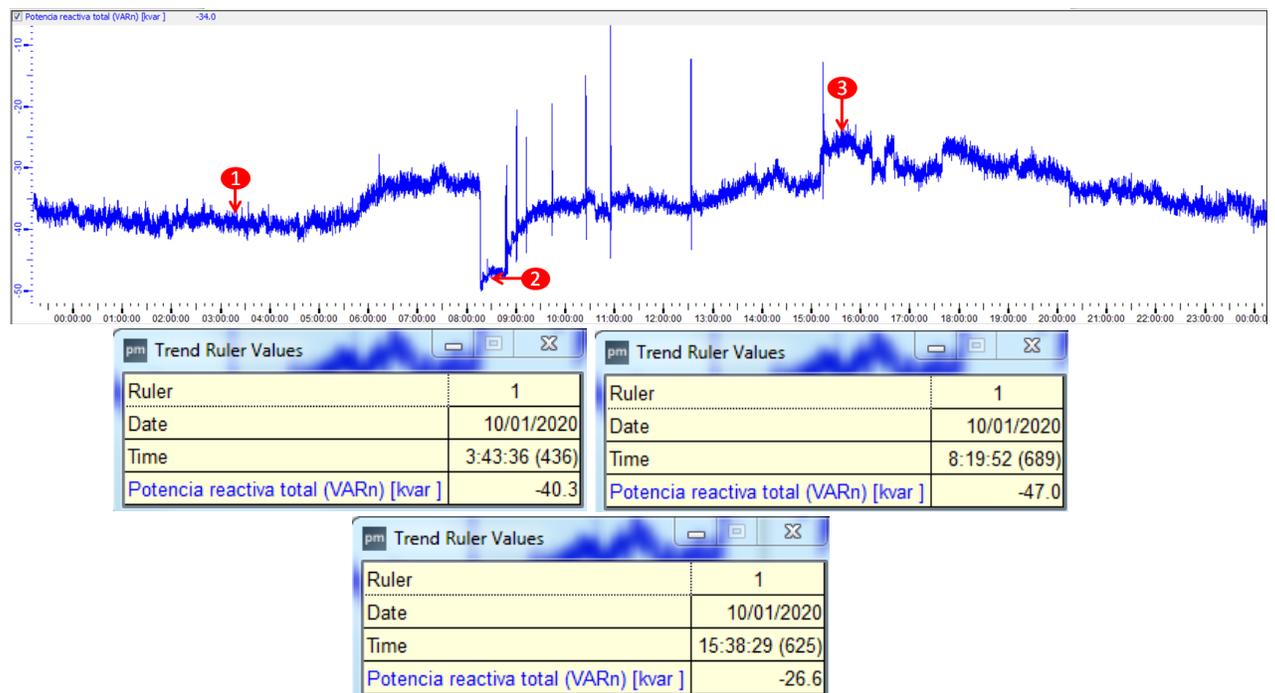


pm Trend Ruler Val...		pm Trend Ruler Val...	
Ruler	1	Ruler	1
Date	20/01/2020	Date	20/01/2020
Time	2:58:27 (568)	Time	17:50:38 (170)
THD corriente L1 [%]	18.24	THD corriente L1 [%]	32.04
THD corriente L2 [%]	19.40	THD corriente L2 [%]	30.09
THD corriente L3 [%]	21.14	THD corriente L3 [%]	31.94

Fuente: Sentron Powermanager.

La tendencia presente en el área de operación, muestra las variaciones entre -26.6 kVAr y -47 kVAr, estos valores indican que el área queda con energía reactiva capacitiva, se evidencia que está sobredimensionado el diseño. Figura 3-31.

Figura 3-30: Energía reactiva con banco de condensadores clinkerización I2.

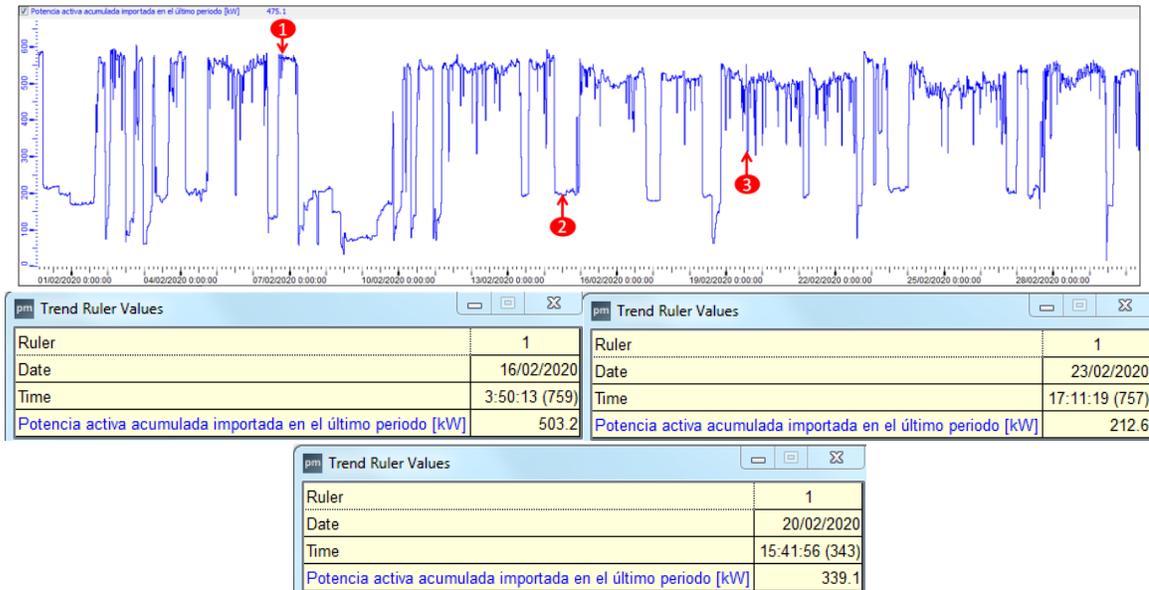


Fuente: Sentron Powermanager.

3.6 Área Crudo

La comparación de un mes de operación en energía activa del área de molienda de crudo, se presentan diferentes tendencias en la operación, la primera cuando llega a plena carga todos los equipos en operación, el número 2 se detiene la molienda pero queda un remanente de energía por el cuarto de compresores en este caso quedan dos en operación 24 horas, el número 3 son momentos de operación en vacío del molino estos se generan por diferentes causas, la más común son atascamientos en las dosificadoras. Figura 3-32.

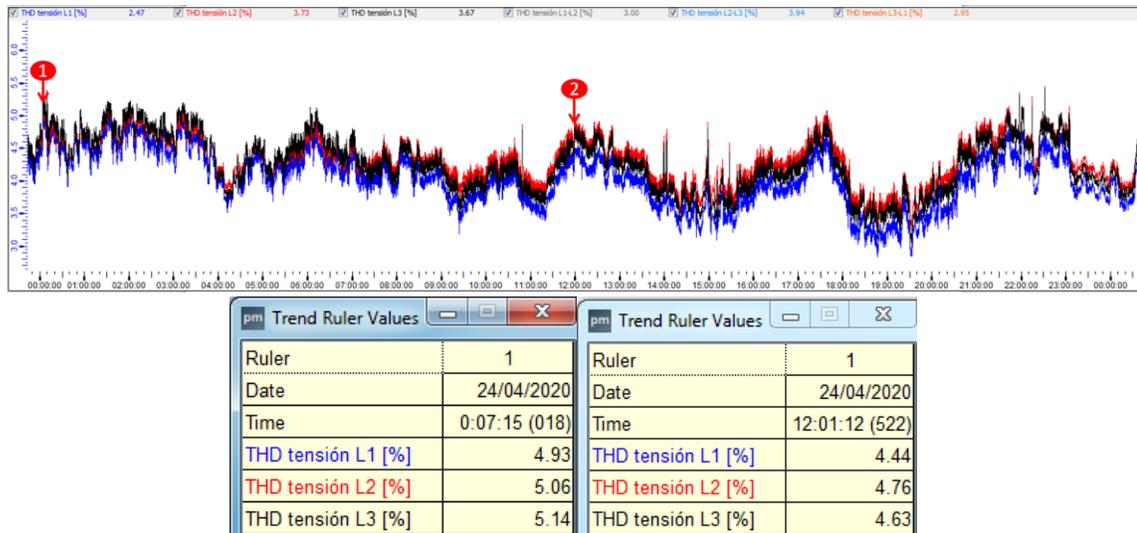
Figura 3-31: Energía activa Crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

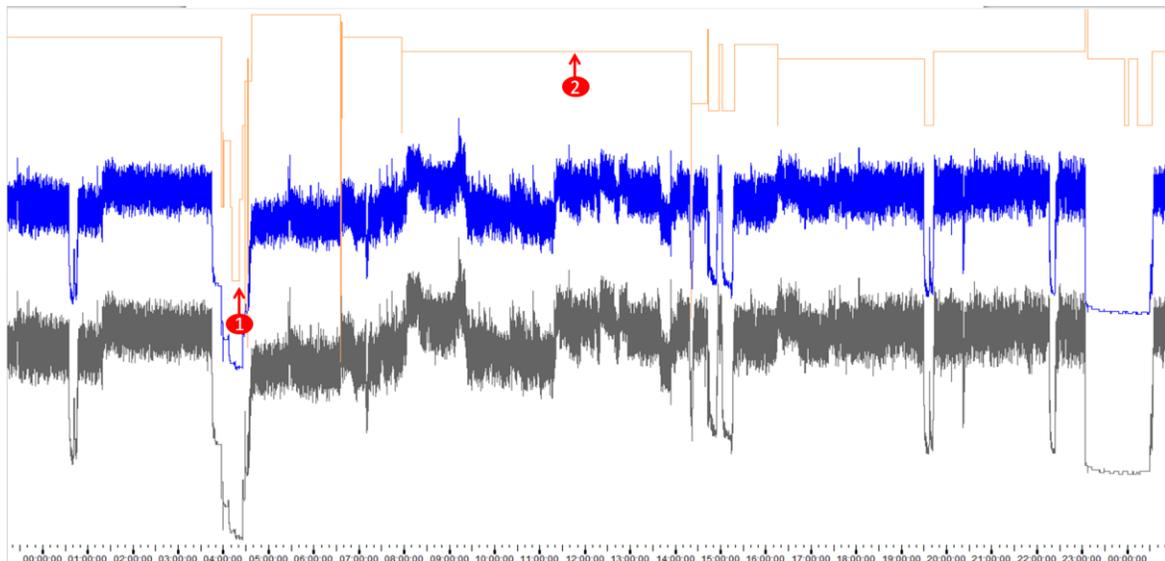
3.6.1 Sin bancos de condensadores

Para los armónicos en tensión en el área, se cumple con la norma establecida por la IEEE 519; donde su valor promedio se mantiene por debajo de un pico del 5%. Figura 3-33.

Figura 3-32: THD en tensión sin banco de condensadores crudo I2.

Fuente: Sentron Powermanager.

El factor de potencia presenta fluctuaciones, pero se mantiene estable cuando está a plena carga, se evidencia su caída cuando se detiene la molienda y cuando el molino trabaja en vacío tiene pequeñas variaciones. Figura 3-34.

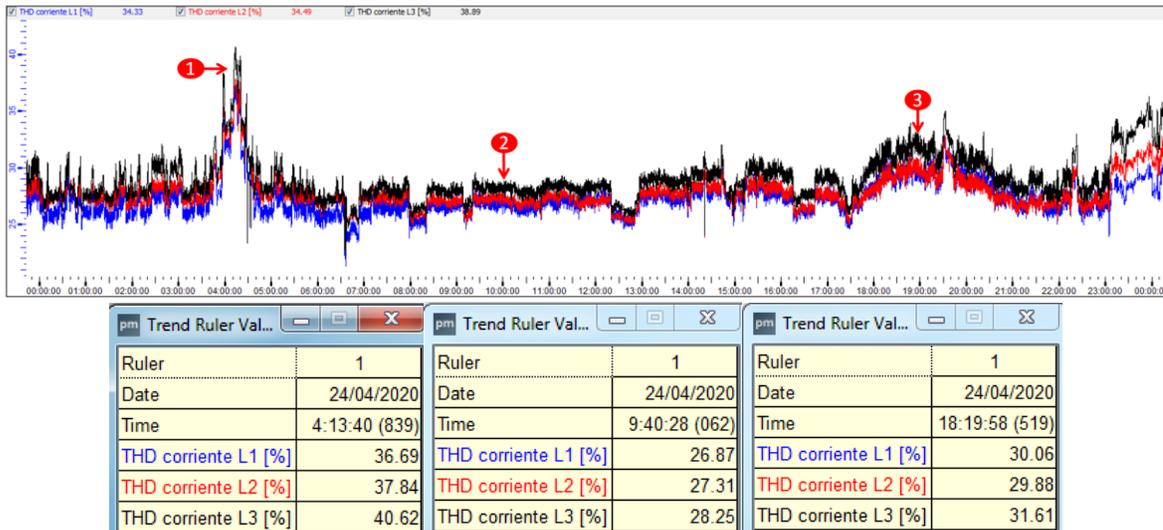
Figura 3-33: Factor de potencia sin banco de condensadores crudo I2.

Trend Ruler Values		Trend Ruler Values	
Ruler	1	Ruler	1
Date	24/04/2020	Date	24/04/2020
Time	4:16:25 (861)	Time	10:38:42 (289)
Potencia activa total [kW]	226.0	Potencia activa total [kW]	502.0
Energy activa importada, tarifa 1 (15 min.) [kWh]	61.9	Energy activa importada, tarifa 1 (15 min.) [kWh]	121.8
Energy reactiva importada, tarifa 1 (15 min.) [kvarh]	17.1	Energy reactiva importada, tarifa 1 (15 min.) [kvarh]	34.8
Corriente media trifásica [A]	314.37	Corriente media trifásica [A]	689.76
Tensión media trifásica PH-N [V]	265.8	Tensión media trifásica PH-N [V]	263.0
Potencia activa acumulada importada en el último periodo [kW]	248.2	Potencia activa acumulada importada en el último periodo [kW]	487.4
Factor total de potencia	0.887	Factor total de potencia	0.918

Fuente: Sentron Powermanager.

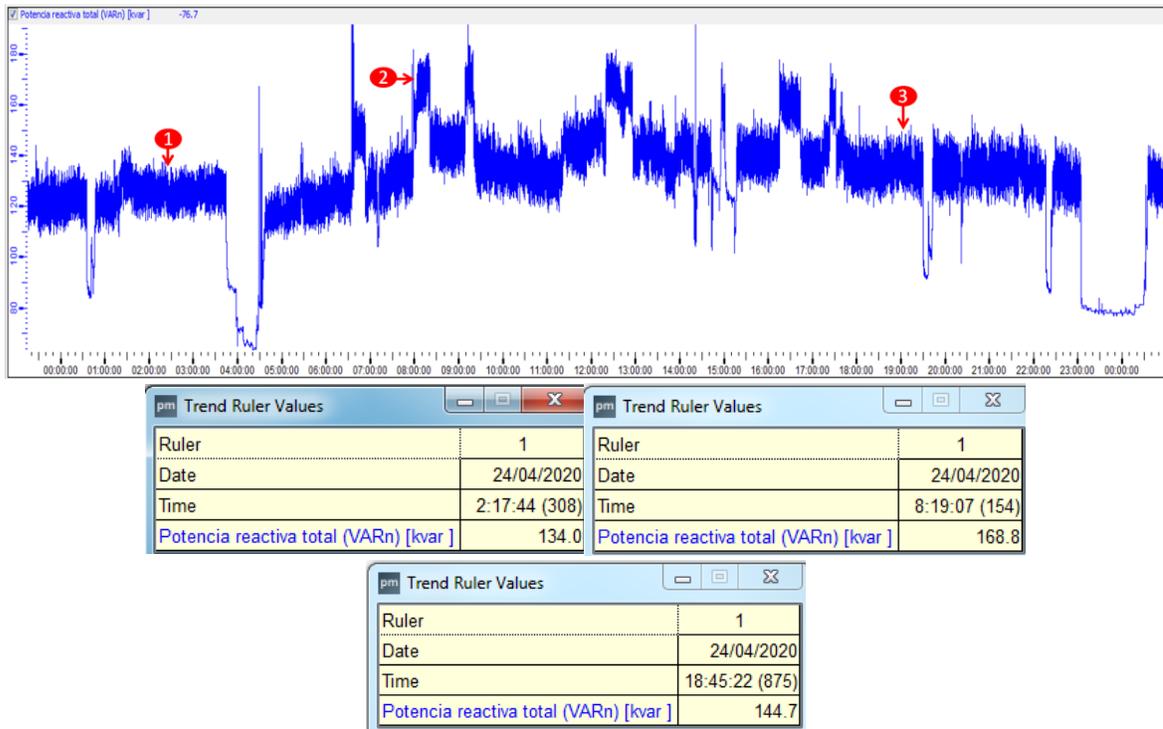
Los THD en corriente de las tres fases se mantienen elevados por encima de 25%, presentando picos que llegan al 40%, esto se da mientras el molino este trabajando o se encuentre en reposo superando los límites permitidos por norma IEEE 519. Figura 3-34.

Figura 3-34: THD en corriente sin banco de condensadores crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se denota el aumento de la energía reactiva inductiva generada con la constante de operación normal del área de crudo, se evidencia una variaciones y picos entre 134 y 168 kVAr inductivos. Figura 3-35.

Figura 3-35: Energía reactiva sin banco de condensadores crudo I2.

Fuente: Sentron Powermanager.

3.6.2 Con bancos de condensadores

La línea de Crudo tiene un diseño de 450 kVAr distribuidos con 10 líneas controladas de 45 kVAr, a continuación, una breve relación entre equipos y mediciones de potencia. Tabla 3-5.

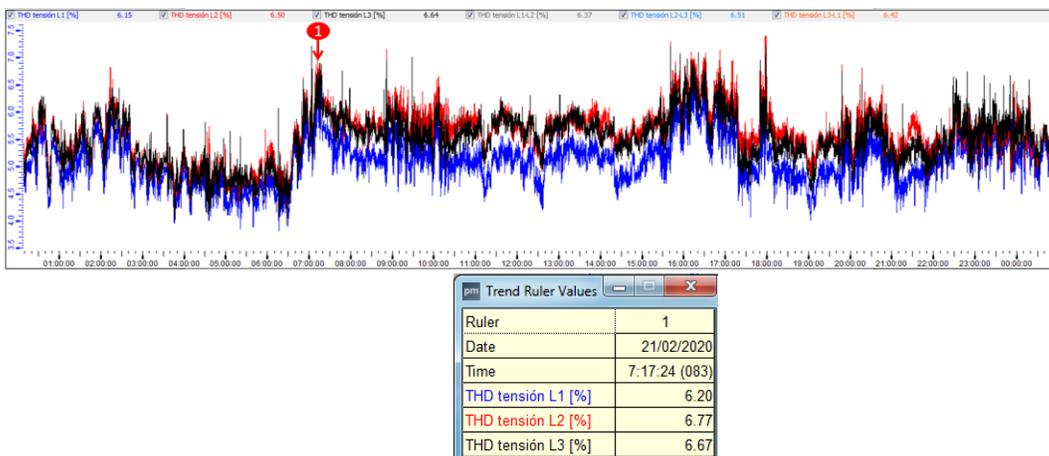
Tabla 3-5: Mediciones para la estimación de potencia de los condensadores.

CRUDO L2											
FS	1	POTENCIA ELECTRICA CONSUMIDAS DE TRABAJO EN %									
		Kva		Amp		Kvar		KW TOTAL			
CARGA PREVISTA TRANSFORMADOR											
648.1	850.44	209.13	574.9965								
ítem	Zona de Servicio	Equipo	Codigo	Potencia Eléctrica Consumida KW.	Voltaje	Factor de Potencia a Corregido	Amp	Potencia Eléctrica Aparente Consumida KVA	Potencia Eléctrica Reactiva Consumida KVAR	Factor de Potencia Corregido	Corrector de Factor de Potencia KVAR
1	C R U D O L 2	DOSIFICADORA CALIZA	BDF 016	0.75	440	0.78	1.3	1.0	0.6	0.97	0.4
2		DOSIFICADORA ARCILLA	BDF 017	0.55	440	0.72	1.0	0.8	0.5	0.96	0.4
3		DOSIFICADORA MINERAL DE HIERRO	BDF 018	0.55	440	0.71	1.0	0.8	0.5	0.97	0.4
4		BANDA MATERIAS PRIMAS CRUDO 2	BTA 012	11	440	0.84	17.2	13.1	7.1	0.97	4.3
5		VENTILADOR DOSIFICADORAS CRUDO 2	VTC 043	7.5	440	0.88	11.2	8.5	4.0	0.97	2.2
6		ROTATIVA DESCARGA FILTRO DOSIFICADORAS CRUDO 2	VRO 025	0.37	440	0.74	0.7	0.5	0.3	0.97	0.2
7		ROTATIVA A MOLINO CRUDO 2	VRO 023	5	440	0.83	7.9	6.0	3.4	0.97	2.1
8		MOLINO CRUDO 2	MVR 001	315	440	0.9	459.3	350.0	152.6	0.96	60.7
9		BOMBA SISTEMA DE PRESION MASAS MOLINO DE CRUDO 2		4	440	0.82	6.4	4.9	2.8	0.97	1.8
10		BOMBA 1 SISTEMA DE LUBRICACION REDUCTOR MOLINO DE CRUDO 2		4	440	0.82	6.4	4.9	2.8	0.97	1.8
11		BOMBA 2 SISTEMA DE LUBRICACION REDUCTOR MOLINO DE CRUDO 2		4	440	0.82	6.4	4.9	2.8	0.97	1.8
12		BOMBA DE LUBRICACION MESA REDUCTOR MOLINO DE CRUDO 2		.5	440	0.76	8.6	6.6	4.3	0.98	3.3
13		BOMBA REFRIGERACION SISTEMA LUBRICACION MOLINO DE CRUDO 2		0.37	440	0.78	0.6	0.5	0.3	0.98	0.2
14		SEPARADOR DINAMICO MOLINO DE CRUDO 2		30	440	0.74	53.2	40.5	27.3	0.98	21.2
15		BOMBA 1 SISTEMA DE LUBRICACION SEPARADOR MOLINO DE CRUDO 2		0.75	440	0.76	1.3	1.0	0.6	0.98	0.5
16		BOMBA 2 SISTEMA DE LUBRICACION SEPARADOR MOLINO DE CRUDO 2		0.75	440	0.76	1.3	1.0	0.6	0.98	0.5
17		ELEVADOR RECIRCULACION MOLINO CRUDO 2	ELC 009	5.5	440	0.79	9.1	7.0	4.3	0.98	3.2
18		VENTILADOR FILTRO ELEVADOR DE RECIRC. MOLINO CRUDO 2	VTC 047	4	440	0.88	6.0	4.5	2.2	0.98	1.3
19		VENTILADOR MOLINO CRUDO 2	VTC 026	315	440	0.9	459.3	350.0	152.6	0.96	60.7
20		BOMBA DE REFRIGERACION CHUMACERAS VENTILADOR MOLINO		0.55	440	0.8	0.9	0.7	0.4	0.98	0.3
21		ROTATIVA 1 CICLON MOLINO CRUDO 2	VRO 018	1.5	440	0.8	2.5	1.9	1.1	0.98	0.8
22		ROTATIVA 2 CICLON MOLINO CRUDO 2	VRO 019	1.5	440	0.8	2.5	1.9	1.1	0.98	0.8
23		VENTILADOR AERO DESCARGA CICLONES MOLINO CRUDO 2	VTC 028	3	440	0.87	4.5	3.4	1.7	0.98	1.1
24		VENTILADOR FITRO HORNO 2	VTC 027	150	440	0.9	218.7	166.7	72.6	0.97	35.1
25		BOMBA DE REFRIGERACION CHUMACERAS VENT. FILTRO HORNO 2		0.37	440	0.83	0.6	0.4	0.2	0.98	0.2
26		VENTILADOR AERO DESCARGA FILTRO HORNO 2	VTC 029	3	440	0.9	4.4	3.3	1.5	0.96	0.6
27		ROTATIVA AERO DESCARGA FILTRO HORNO 2	VRO 020	3.6	440	0.9	5.2	4.0	1.7	0.96	0.7
28		TRANSPORTADOR CRUDO A ELEVADOR SILO HARINA 2	TRA 001	1.5	440	0.83	2.4	1.8	1.0	0.96	0.6
29		VENTILADOR FILTRO TRANSPORTADORES A ELEVADOR SILO HARINA 2	VTC 030	5.5	440	0.83	8.7	6.6	3.7	0.96	2.1
TOTALES				884.61			1308.4	997.1	454.7		209.1

Fuente: Autor.

El THD en tensión del área de Crudo se comporta con picos de 6.77 % por el cual presenta una desviación fuera de la norma IEEE 519. Figura 3-37.

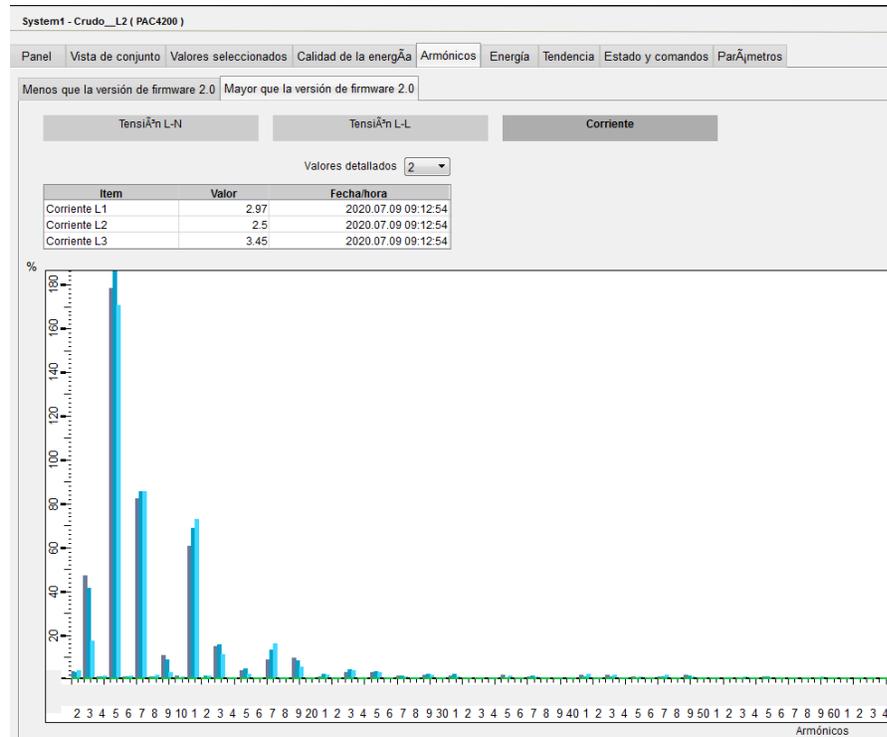
Figura 3-36: THD en tensión con banco de condensadores crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se presenta el espectro armónico de corriente para esta área. Se puede evidenciar que los armónicos que están afectando el área de crudo línea 2 corresponden al armónico 5, 7 y 11 que son los que predominan. Figura 3-36.

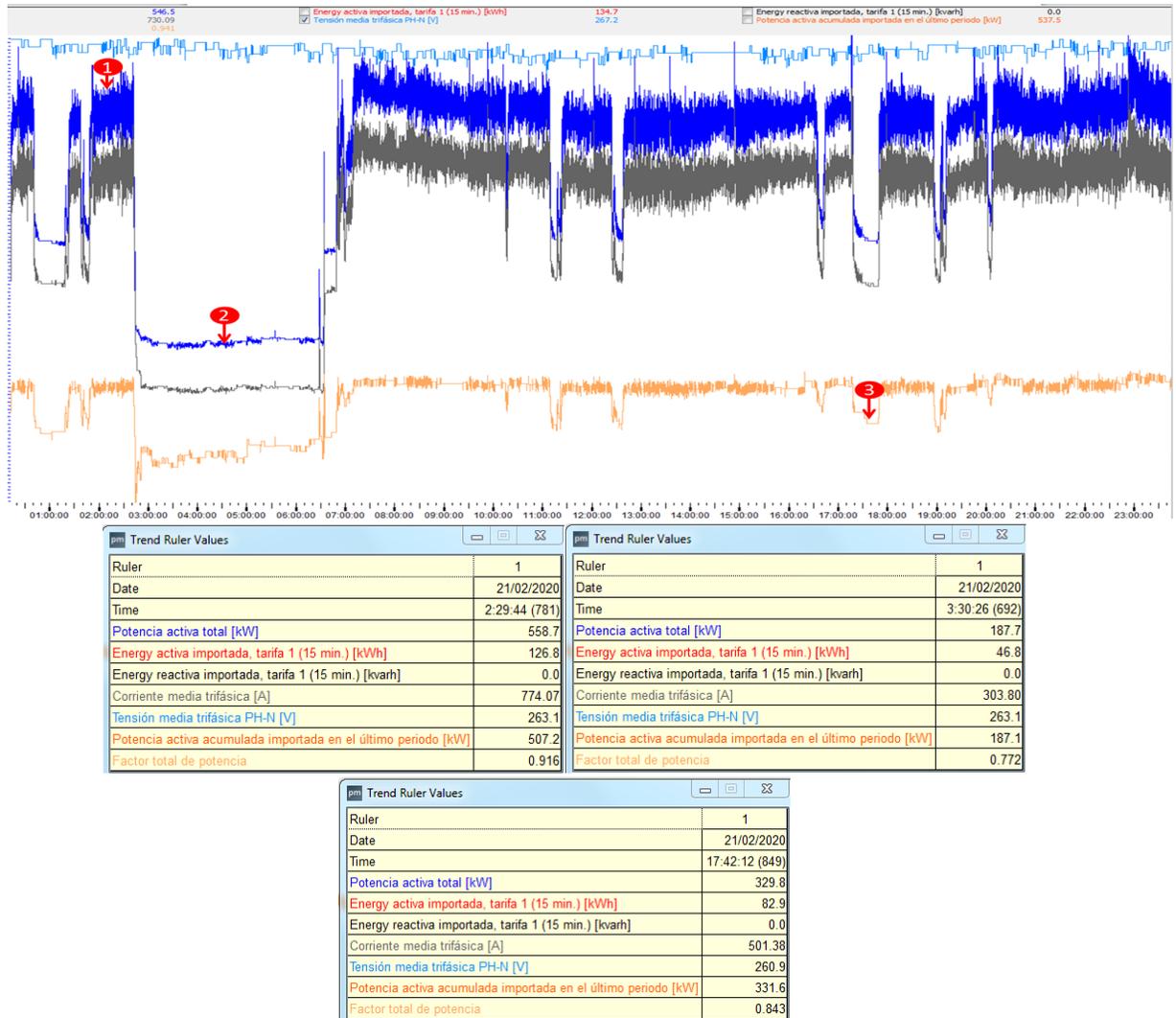
Figura 3-37: Espectro armónico de corriente con banco de condensadores de Crudo l2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se demuestra como el factor de potencia en (color amarillo) se mantiene en 0.91 con un rizado mientras el molino está en operación y baja a 0.77 cuando se detiene la molienda de crudo. Figura 3-39.

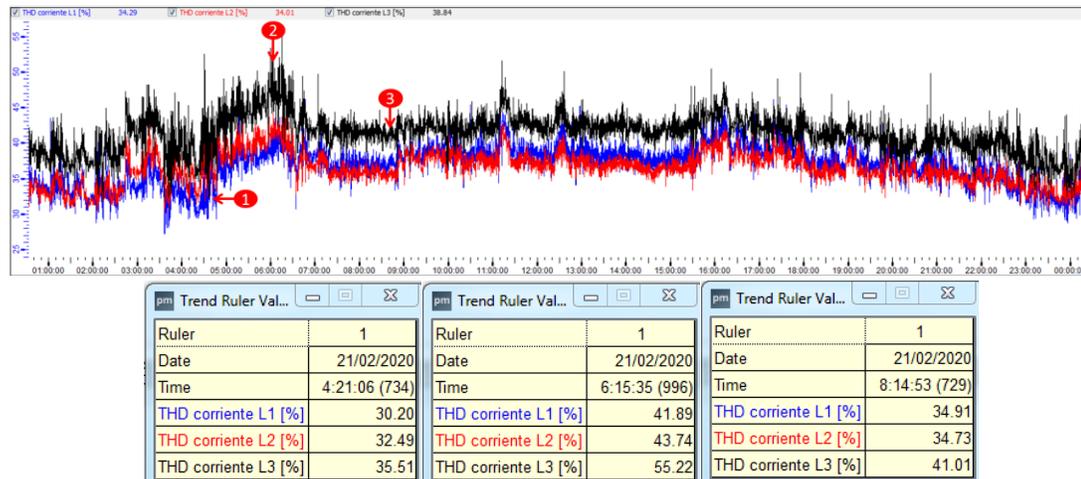
Figura 3-38: Factor de potencia con banco de condensadores crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

Se ve como el THD en corriente están por encima del 33%, mientras el molino está en operación normal y con su paro de equipos. Figura 3-40.

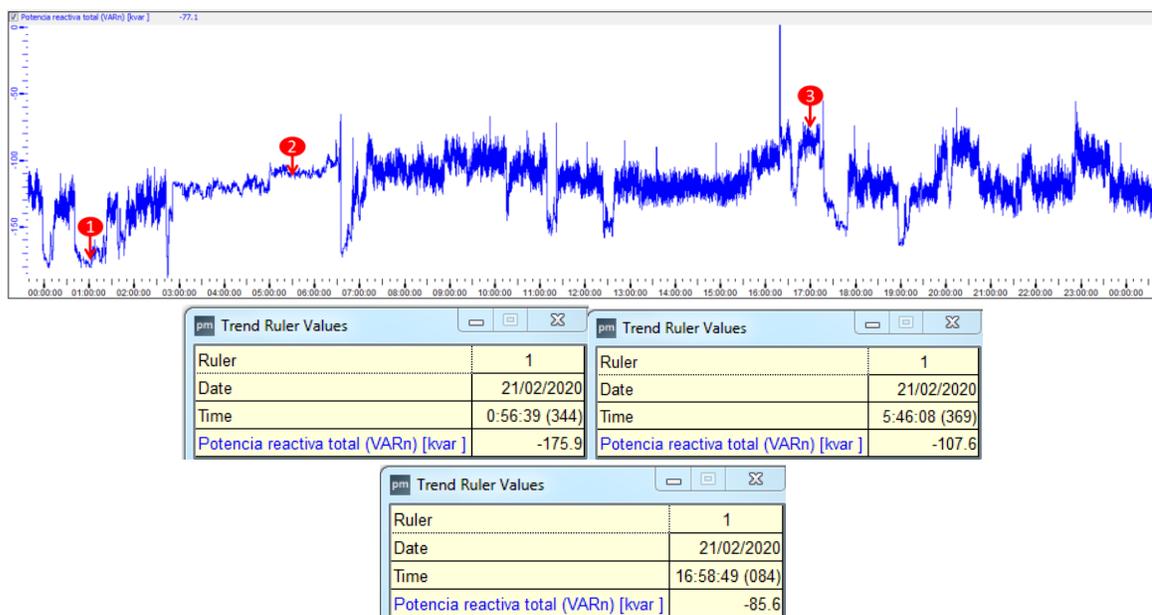
Figura 3-39: THD en corriente con banco de condensadores crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

La tendencia presente en el área de operación, muestra las variaciones entre -175.9 kVAR y -86 kVAR, se evidencia el sobredimensionamiento en el diseño del banco de capacitores. Figura 3-41.

Figura 3-40: Energía reactiva con banco de condensadores crudo I2.



Fuente: Sentron Powermanager.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Conforme al levantamiento realizado en las cargas eléctricas se puede evidenciar los bajos factores de potencia, armónicos presentes en los motores; a raíz de esto se puede identificar la necesidad de compensación de energía reactiva y desviación en espectro armónico. Adicionalmente, se evidencia el rediseño en la capacidad de los motores, ya que el sobredimensionamiento de los mismos afecta el factor de potencia, dando paso a ampliaciones de bancos de condensadores e implementación de filtros que alteran los consumos y costos elevados en Clinker línea 2.
- De acuerdo a la norma IEEE 519 nos da como base que los factores armónicos en tensión permisibles hasta el 5% y en corriente 15%, con estos parámetros se evidencia que en las áreas (Carbón, Clinker, homogenización y crudo), se obtuvo una lectura superior a la recomendada por dicha norma, por consiguiente se recomienda un análisis para selección de filtros conforme al estudio mencionado en este proyecto para dar paso a una eficaz comportamiento en el proceso.
- Dando conformidad al seguimiento, caracterización y estudio de los datos en el consumo de potencia Reactiva, se produjo una disminución considerable gracias a la confrontación de los bancos de condensadores, verificando que es conveniente tenerlos activos para evitar un consumo en esta energía contraproducente y penalizado por la comercializadora; por otra parte el factor de potencia nos da como resultado da un factor de potencia alto, gracias al hallazgo hecho en implementación de conservar los dispositivos de corrección antes mencionados.
- Con el control de motores sobredimensionados se reduce la energía reactiva y disminución de carga en los bancos instalados, esto interfiere en el aumento del espectro armónico, por otra parte, el armónico presente se puede tratar con la

instalación de filtros; siguiendo con otra alternativa el factor de potencia aumenta y da paso a estar sin ninguna multa generada por la comercializadora.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa participar en programas del estado que aporten recursos para mejorar los indicadores de eficiencia energética de la planta ya que se pudo evidenciar potencial de mejora.
- Se recomienda realizar a futuro un proyecto para el diseño de los filtros de armónicos requeridos en Clinker I2 de la planta cementos del oriente.

Bibliografía

- [1] M. Gerin, “Guía de diseño de instalaciones eléctricas Según normas internacionales IEC,” 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: Schneider Electric, 2013.
- [2] T. M. Blooming y D. J. Carnovale, “Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits”, en *Conference Record of 2006 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, jun. 2006, pp. 1–9, doi: 10.1109/PAPCON.2006.1673767.
- [3] A. R. Oliva y J. C. Balda, “A PV dispersed generator: a power quality analysis within the IEEE 519”, *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 18, núm. 2, pp. 525–530, abr. 2003, doi: 10.1109/TPWRD.2003.809685.
- [4] J. Correa Soto, A. E. Borroto Nordelo, M. Alpha Bah, R. González Álvarez, M. Curbelo Martínez, y A. M. Díaz Rodríguez, “Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011”, *Ing. Energética*, vol. 35, núm. 1, pp. 38–47, abr. 2014.
- [5] R. D. P. Castrillon, “MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO POR PROCESO HÚMEDO A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA”, p. 10.
- [6] M. A. Echeverría Cruz y O. A. López Mena, “Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica”, may 2010, Consultado: jul. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2058>.
- [7] “1080224379.pdf”. Consultado: jul. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3305/1/1080224379.pdf>.
- [8] “Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales | Tecnura”. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6184> (consultado jul. 06, 2020).
- [9] P. Suárez y J. Farith, “Control de filtros activos de potencia para la mitigación de armónicos y mejora del factor de potencia en sistemas desequilibrados”, 2007, Consultado: jul. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/2384>.
- [10] A. R. Hernández, “Comisión de Regulación de Energía y Gas”, p. 61, 2010.

A. Anexo: Censo de cargas