

**CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE
PLACAS DE YESO CARTÓN BASADA EN LA NORMA ISO 50001:2011**

EYLIN MENDOZA QUEVEDO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA D.T Y C
2012**

**CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA PLANTA DE DE FABRICACIÓN
PLACAS DE YESO CARTÓN BASADA EN LA NORMA ISO 50001:2011**

EYLIN MENDOZA QUEVEDO

Monografía para optar al título de Ingeniero Eléctricista

Director:

LUIS EDUARDO RUEDA RINCÓN

Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA D.T Y C
2012**

Cartagena D.T. y C, Julio de 2012

SEÑORES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ATN: COMITÉ EVALUACION DE PROYECTOS

La ciudad

Cordial saludo,

Me permito presentar ante ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el trabajo titulado **“CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PLACAS DE YESO CARTÓN BASADA EN LA NORMA ISO 50001:2011”** desarrollado por la estudiante EYLIN MENDOZA QUEVEDO, como requisito para la aprobación del “MINOR DE SISTEMAS DE POTENCIA”, y optar por el título de Ingeniero Eléctrico, y en la cual participe como DIRECTOR.

Atentamente,

LUIS EDUARDO RUEDA RINCÓN

Ingeniero Electricista

Director

Cartagena D.T. y C, Julio de 2012

SEÑORES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ATN: COMITÉ EVALUACION DE PROYECTOS

La ciudad

Cordial saludo,

Me permito de la manera más respetuosa presentar ante ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el trabajo titulado “**CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA PLANTA FABRICACIÓN DE PLACAS DE YESO CARTÓN BÁSADA EN LA NORMA ISO 50001:2011**” dirigido por el Ingeniero Luis Eduardo Rueda Rincón y desarrollado por mi, como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Eléctrico.

Atentamente,

EYLIN MENDOZA QUEVEDO

CC 1.128.050.806 de Cartagena

AUTORIZACION

Yo EYLIN MENDOZA QUEVEDO, identificada con Cédula de Ciudadanía 1.128.050.806 de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso del trabajo **“CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA PLANTA FABRICACIÓN DE PLACAS DE YESO CARTÓN BÁSADA EN LA NORMA ISO 50001:2011”** y publicarlo en el catalogo ONLINE de la Biblioteca.

EYLIN MENDOZA QUEVEDO
CC 1.128.050.806 de Cartagena

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Cartagena D.T. y C, Julio de 2012

*A quienes me recordaron una y otra vez este propósito aplazado y me
impulsaron a retomarlo.
Al Ingeniero Rueda por su confianza y apoyo.
¡Infinitas gracias!*

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. ALCANCE.....	20
4. GENERALIDADES	21
4.1 DEFINICIONES.....	21
4.2 CONCEPTOS INTRODUCTORIOS DE LA NORMA ISO 50001:2011	23
5. CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA ESTADÍSTICA PARA UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE YESO CARTÓN A NIVEL DE FRONTERA COMERCIAL	27
5.1 ESTRUCTURA DE CONSUMOS ENERGÍA ELÉCTRICA.....	27
5.2 MODELO TEÓRICO DE CAPACIDAD MEDIA DE EFICIENCIA REAL (CMER) PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLACAS DE YESO CARTÓN PARA ENERGÍA ELÉCTRICA GLOBAL DE LA PLANTA	30
5.3 MODELO REAL META DE CME PARA ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL DE FRONTERA COMERCIAL.....	33
5.4 VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSUMO CON LA PRODUCCIÓN.....	34
5.5 POTENCIALES DE AHORRO.....	36
5.6 ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CONSUMO CONTRA LA CME.....	37
5.7 ANÁLISIS DE INDICADORES ENERGÉTICOS.....	40
5.8 ANÁLISIS DE LA PLANIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	41
5.9 ANÁLISIS DE LA FACTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	42
6. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	45
6.1 VENTILADORES DE LA LÍNEA DE TRANSFORMACIÓN DE YESO.....	45

6.1.1	Ventilador del Filtro 1	45
6.1.2	Ventilador 2.....	49
6.1.3	Ventilador 3.....	51
6.2	UNIDADES DE SERVICIO	54
6.2.1	Unidades de Aire Comprimido.....	54
6.2.2	Unidades Chiller Eléctrico	58
6.3	MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS.....	62
6.3.1	Motor Molino 2.....	62
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
	BIBLIOGRAFIA	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Resumen de la justificación del proyecto.....	17
Figura 2	Modelo de Sistema de Gestión de la Energía de la norma ISO 50001:2011.....	24
Figura 3	Distribución de consumos de energía eléctrica en la Planta de Producción de Placas de Yeso Cartón.....	25
Figura 4	Diagrama energético productivo de la Línea de Transformación de Yeso.....	26
Figura 5	Diagrama energético productivo de la Línea de Fabricación de Placas.....	26
Figura 6	Diagrama de pareto de consumidores de energía eléctrica.....	27
Figura 7	Esquema de Consumos Energéticos para el Proceso Productivo de Fabricación de Placas de Yeso Cartón	29
Figura 8	Línea base en energía eléctrica (CME real y meta), diaria, en frontera comercial.....	30
Figura 9	Gráfico de Variación del Índice de Consumo con la producción para energía eléctrica.....	34
Figura 10	Gráfico de tendencia de consumos periodo 2011 día a día.....	36
Figura 11.	Tendencia de eficiencia 2012 con respecto a CMER de 2011 mes a mes en energía eléctrica.....	38

Figura 12 Análisis de índice de consumo ISO 50001:2011 vs. Índice de consumo convencional.....	39
Figura 13 Esquema Ventilador MO250 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Molienda y Filtrado de Partículas.....	45
Figura 14 Comportamiento de la apertura del dámper del ventilador del filtro.....	46
Figura 15 Comportamiento típico de la caída de presión frente a la apertura del dámper del ventilador del Filtro 1.....	47
Figura 16 Esquema Ventilador 2 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Enfriamiento de Estuco.....	48
Figura 17 Esquema Ventilador 2 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Enfriamiento de Estuco.....	49
Figura 18 Esquema Sistema de Aire Comprimido de Alta Presión.....	54
Figura 19 Comportamiento de la Demanda de Potencia y Frecuencia de los Compresor GA75VSD y GA75Plus.....	56
Figura 20 Comportamiento de la Demanda de Flujo de Aire de los Compresor GA75VSD y GA75Plus.....	56
Figura 21 Esquema Sistema de Refrigeración de Agua Fría para Proceso..	58
Figura 22 Esquema Unidad de Refrigeración. Equipos KLH y Trane.....	58
Figura 23 Tendencia de voltajes en bornes del motor Molino 2.....	63
Figura 24 Tendencia de desequilibrio de voltajes del motor Molino 2.....	63
Figura 25 Tendencia de corrientes de línea del motor Molino 2.....	64
Figura 26 Tendencia del indicador armónico de voltaje HVF motor Molino 2.....	64

Figura 27 Tendencia de potencia activa demandada por el motor Molino 2.....	65
Figura 28 Tendencia del factor de potencia trifásico del motor Molino 2.....	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Potenciales de ahorro resumidos – Frontera Comercial.....	34
Tabla 2 Presupuesto de energía eléctrica método ISO 50001:2011.....	41
Tabla 3 Análisis de variaciones de consumo energético en factura de energía eléctrica.....	43
Tabla 4 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador del Filtro 1.....	46
Tabla 5 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador 2.....	49
Tabla 6 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador 3.....	52
Tabla 7 Resumen de Valores de Condiciones de Operación Unidades de Aire Comprimido.....	56
Tabla 8 Cálculo del Desempeño de las Unidades de Refrigeración de Agua Fría.....	59
Tabla 9 Resumen del desempeño energético del motor del Molino 2.....	62
Tabla 10 Resumen de Potenciales de Reducción de Consumos de Energía Eléctrica, por Implementación de Mejoras de Baja Inversión en Equipos Consumidores.....	68

RESUMEN

Debido al exponencial crecimiento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial y el respectivo impacto ambiental que este crecimiento conlleva, la Gestión Integral de la Energía se convierte en un tema digno de ser atendido en el contexto académico pero en especial de ser aplicado en el contexto práctico.

En este trabajo se presenta el resultado de la Caracterización Eléctrica de una Planta de Producción de Placas de Yeso Cartón, material que se constituye en una fuente de consulta para los interesados en conocer los principales tópicos relacionados con la Caracterización Energética a nivel Industrial, su relevancia como paso inicial e indispensable para la implementación de un Sistema de Gestión Integral de la Energía y las ventajas que trae como un fin en sí misma. Además la bibliografía consignada resulta de gran ayuda para saber hacia dónde se dirige una búsqueda más especializada.

El proyecto de grado está compuesto por tres capítulos que se resumen de la siguiente manera:

- El primer capítulo trata sobre las generalidades de la Norma ISO 50001:2011:2011, su origen, sus etapas de implementación y la importancia en el contexto actual. Además inicia con definiciones básicas que serán de utilidad para la comprensión del documento.
- El segundo capítulo expone el resultado de la Caracterización Eléctrica basada en la Norma ISO 50001:2011
- El tercer capítulo presenta un diagnóstico de los principales consumidores arrojados como resultado por la Caracterización, su desempeño energético y las posibilidades de ahorro basados en su operación y mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Resulta difícil pensar en el mundo moderno sin la energía eléctrica; la civilización no sería lo que es hoy en día y los conceptos de "progreso" y "calidad de vida" no tendrían el mismo significado. Actividades tan comunes como ver televisión, usar el computador para trabajo o entretención y calentar comida en un microondas, no podrían presentarse tan sencillas si el uso de una de las fuentes de energía más apreciadas e importantes que el ser humano haya podido concebir no estuviera tan popularizado. Lo que a principios del siglo XX resultaba un privilegio de pocos, propiciador de ciertas comodidades para aquellas personas y familias que pudieran disponer de él, en el transcurrir de un siglo se convirtió en un factor indispensable para los requerimientos más elementales que plantea la sociedad actual.

Pero en contraparte a todos los beneficios que le brinda a la humanidad el uso de la energía eléctrica, el crecimiento incontrolado y desmesurado de la demanda de este energético ha colaborado de manera impactante en la problemática del cambio climático mundial, por lo que toman una relevancia significativa todos los esfuerzos que se realicen en miras de reducir los niveles de consumo, entre los que la eficiencia energética y la gestión de la energía se presentan como una herramienta importante y mandatoria.

Como bien lo resume la máxima de los Sistemas de Gestión: "Lo que no se mide no se puede controlar", la Caracterización Energética se presenta como una foto instantánea del estado actual de la empresa con respecto al consumo de energéticos y entrega las prioridades y las principales variables que deben ser posteriormente medidas y monitoreadas.

Este trabajo se constituye en material importante de consulta como ejemplo práctico y resulta pertinente por convertirse en un soporte para futuros trabajos relacionados con este tópico y para consultas académicas en general.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la caracterización energética de una planta de fabricación de placas de yeso cartón basándose en la Norma ISO 50001:2011, con el fin de determinar potenciales de ahorro energético por optimización operacional, de mantenimiento y planeación de la producción.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar gráficos de correlación de consumo y producción.
- Identificar la energía no asociada a la producción.
- Estimar potenciales de ahorro de energía eléctrica.
- Elaborar diagrama energético-productivo.
- Evaluar de índices de consumo de energía eléctrica.
- Identificar los equipos mayores consumidores de energía eléctrica mediante la metodología de la gráfica pareto.
- Evaluar la eficiencia energética operacional de equipos pareto
- Realizar diagnóstico energético de los equipos pareto
- Desarrollar un análisis de pre-factibilidad de posibles proyectos de mejora detectados
- Emitir recomendaciones generales de buenas prácticas de operación.

2. JUSTIFICACIÓN

A manera de resumen, en la Figura 1 se relacionan las razones que motivaron la realización del presente trabajo, el cual se constituye como el primer paso para la implementación del Sistema de Gestión Integral de Energía basado en la norma ISO 50001:2011 y su respectiva certificación en la planta de producción objeto de este trabajo.

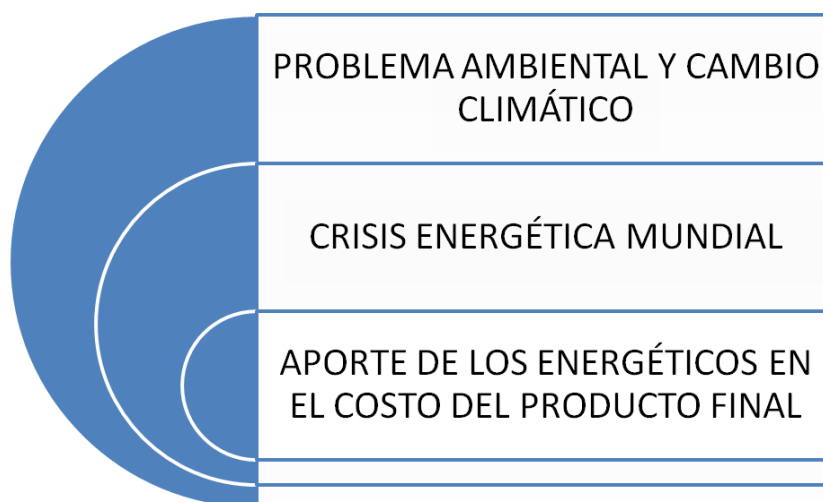


FIGURA 1. Resumen de la justificación del proyecto

Actualmente y desde hace algunos años se está presentando un serio problema ambiental que está directamente relacionado con la producción y el uso de la energía, que junto con el transporte y otras fuentes de emisión de gases (principalmente el sector Industrial), son los principales responsables del cambio climático mundial. En este escenario, la reducción del consumo energético se plantea como una de las alternativas para mitigar las gravísimas consecuencias ambientales, sociales y económicas, asociadas a dicho cambio climático.

Por otra parte, el incremento de la demanda y consumo de energía y las dificultades que existen para satisfacer dicha demanda con las fuentes de energía disponibles y las redes existentes, están prefigurando un escenario de crisis energética global inminente.

Nuestra realidad local en la ciudad de Cartagena nos advierte que la disponibilidad de energía eléctrica es y será un factor crucial en los próximos años, ya que la capacidad actual instalada no tiene manera de suplir nuevas cargas y es necesario un macro proyecto (línea de interconexión a 220kV) para evitar el colapso del sistema.

Adicional a eso, en la planta de producción de placas de yeso cartón que es objeto de este estudio, el componente de energéticos conforma aproximadamente el 22,1% (9,6% energía eléctrica + 12,5% gas) del costo directo del producto, por lo que buscar disminuir los gastos del consumo energético nos permite tener un costo de producción más competitivo y así, posicionarse mejor en el mercado.

Todos estos preceptos plantean un escenario en el que es una necesidad realizar seguimiento a los indicadores energéticos y plantear mejoras continuas que permitan la disminución del consumo de los mismos y de los impactos que estos llevan asociados.

La caracterización energética (CE), como fase inicial de un Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE) basado en el estándar internacional ISO 50001:2011, permite identificar potenciales de ahorro energético por optimización de la operación, mantenimiento y gestión de la producción, que no requieren una alta inversión. La CE adicionalmente es la herramienta de análisis inicial de medidas de ahorro por actualizaciones tecnológicas, que permite fijar la hoja de ruta para definir prioridades en materia de cambios tecnológicos que permitan generar mejoras en la eficiencia energética y confiabilidad del proceso productivo.

3. ALCANCE

Este trabajo pretende ser un marco referencial que sirva de consulta académica y que contenga información relacionada con la Caracterización Eléctrica de plantas de producción industrial, especialmente plantas de producción de placas de yeso cartón, entre la que se encuentre:

- Gráficos de correlación de consumo y producción.
- Potenciales de ahorro de energía eléctrica.
- Diagrama energético-productivo.
- Índices de consumo de energía eléctrica
- Gráfica pareto de consumo eléctrico
- Diagnóstico energético según tipo de equipo y punto de operación.
- Buenas prácticas de operación.

Los datos mostrados en este documento no son datos reales (todos los valores están multiplicados por un factor de conversión) respetando las políticas de confidencialidad de la planta de producción caso de estudio. Los nombres de los equipos también han sido cambiados por el mismo motivo y sólo se respeta su nombre técnico y su aplicación.

El alcance de este trabajo no contempla la caracterización de otro tipo de energético presente en la empresa diferente a energía eléctrica, así como tampoco incluye la implementación de un Sistema de Gestión Integral de Energía basado en la Norma ISO 50001:2011.

4. GENERALIDADES

4.1 DEFINICIONES

Las siguientes son algunas definiciones útiles tomadas de la GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA [1], desarrollada por la Universidad del Atlántico y la Universidad Autónoma de Occidente, como parte del Proyecto de Investigación: “Programa de Gestión Integral de la Energía para el Sector Productivo Nacional” financiado por la UPME y COLCIENCIAS, que ayudan a la comprensión del presente documento:

CAPACIDAD MEDIA DE EFICIENCIA: Es la ecuación que rige el consumo de energía del proceso en función de la producción realizada, obtenida a partir de los datos confiables del proceso analizado en toda la gama de situaciones operacionales típicas y representativas del sistema.

CENTRO DE COSTO ENERGÉTICO: Área del flujograma del proceso productivo que cuenta con medición de los consumos energéticos y del flujo de material.

DIAGRAMA ENERGÉTICO-PRODUCTIVO: Es el flujograma del proceso representado por centros de costo energético y donde se reflejan: los flujos de materiales, desechos de materiales, flujos de energía, desechos de energía, por ciento de energía consumida en cada centro respecto al total.

DIAGRAMA DE PARETO: Diagrama que representa el 20% de las causas que provocan el 20% de los efectos de un fenómeno dado.

EFICIENCIA ENERGÉTICA: Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

FIABILIDAD: Porcentaje de los datos de la muestra que son confiables para la caracterización energética estadística.

INDICADOR DE EFICIENCIA: Relación entre la energía gastada y la energía que debería haberse gastado en un proceso.

INDICADORES DE GESTIÓN: Son indicadores entendidos por todos que reflejan indirectamente el comportamiento de un área de gestión organizacional de la empresa.

ÍNDICE DE CONSUMO: Relación que existe entre la energía consumida y las unidades de producto obtenidas en un proceso dado. (kW/Ton; m³/Kg; MBTU/m²; Toneladas de vapor/Kg; kW/kgf*m etc.)

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA: Actividades, procedimientos o procesos que se encargan de evaluar, controlar y mantener la eficiencia energética de los equipos. Desde el punto de vista del mantenimiento tradicional este tipo de mantenimiento se considera preventivo o predictivo ya que los equipos generalmente comienzan a perder eficiencia energética antes de perder indisponibilidad.

PERSONAL CLAVE: El 20% del personal que decide con su actuación el 80% del consumo o de la eficiencia energética de los procesos y equipos de la empresa.

PAY-BACK: Recuperación de la inversión

SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA: Conjunto de factores estructurados mediante normas, procedimientos y actuaciones que permite la materialización de la política, los objetivos y las metas de eficiencia energética a través de una participación activa de los trabajadores en relación con la tecnología y los procesos. Parte del sistema general de gestión de la empresa.

POTENCIAL DE AHORRO POR MEJORAS EN LAS PRACTICAS OPERACIONALES: Ahorro de energía por reducción de la variabilidad operacional y del estado técnico de los equipos que provoca que para un

mismo nivel de producción realizada existan diferentes consumos de energía. Se aprovecha con la implementación de un sistema de control operacional y del mantenimiento que consiga siempre el menor consumo posible para los niveles de producción del equipo o sistema.

POTENCIAL DE AHORRO POR PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN:

Ahorro de energía por reducción del índice de consumo o intensidad energética del proceso o equipo, el cual se produce al identificar la rata de producción mínima a partir de la cual el índice de consumo es siempre cercano al mínimo alcanzable en ese proceso.

POTENCIAL DE AHORRO POR AJUSTES OPERACIONALES:

Es el potencial de ahorro de energía que puede lograrse cambiando la operación actual mediante ajustes operacionales del proceso o equipo. Generalmente son medidas que requieren baja inversión.

POTENCIAL DE AHORRO POR CAMBIOS TECNOLÓGICOS:

Es el ahorro que se produce por cambios en el proceso o equipo debido a mejoras tecnológicas o cambios tecnológicos. Generalmente son medidas que requieren media o alta inversión.

4.2 CONCEPTOS INTRODUCTORIOS DE LA NORMA ISO 50001:2011

Al darse cuenta de la importancia de la gestión de la energía, la International Organization for Standardization (ISO) empezó a desarrollar desde el año 2008 la ISO 50001 como la futura norma internacional de la gestión de la energía. Ésta fue publicada finalmente en Junio de 2011, con potencial para afectar a más del 60% del consumo energético mundial (esta estimación se basa en la información de la sección “La demanda de Energía Mundial y Perspectivas Económicas”, del documento “Perspectiva Internacional de Energía 2010” [3], publicado por la Agencia Internacional de Energía de Estados Unidos, en la cual estiman que el sector industrial -incluyendo la manufactura, la agricultura,

minería y construcción- tiene el 51% del consumo energético mundial y el sector comercial alrededor de un 7%.

Las expectativas apuntan a que la norma ISO 50001:2011 pueda llegar a ser un catalizador global para la eficiencia energética industrial, del mismo modo que la ISO 9001 lo ha sido para la calidad.

La implementación de la norma se resume en tres etapas relacionadas a continuación [1]:

Etapas 1. Decisión Estratégica:

Los Sistemas de Gestión Integral de Energía, requieren que se realice un cambio mental y cultural en las organizaciones, que lo hace difícil de implementar si no existe una decisión estratégica de la empresa.

Las principales actividades de esta etapa son:

- Caracterización Energética de la Empresa
- Compromiso de la Alta Dirección
- Alineación de Estrategias
- Definición y Conformación de la Estructura Técnica y Organizacional

Etapas 2. Instalación del SGIE en la Empresa

Luego de tener un panorama del estado actual de la empresa en relación al uso de los energéticos, se requiere empezar a medir las variables prioritarias, que fueron identificadas en la Etapa 1 del proceso y además establecer los valores de control con los que se realizará su respectivo seguimiento.

Las principales actividades de esta etapa son:

- Establecimiento de los Indicadores del Sistema de Gestión
- Identificación de las variables de control por centros de costos

- Definición de los Sistemas de Monitoreo
- Diagnóstico Energético
- Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Comparativa
- Plan de Medidas de Uso Eficiente de la Energía
- Actualización y Validación de la Gestión Organizacional del SGIE
- Preparación del personal
- Elaboración de la Documentación de SGIE
- Auditoría Interna al SGIE

Etapa 3. Operación del Sistema de Gestión Integral Energía en la Empresa

En la Figura 2 [2] se sintetiza gráficamente el modelo de Sistema de Gestión de la Energía consignado en la norma ISO 50001:2011, que está basado en el ciclo de mejoramiento continuo PHVA.



Figura 2. Modelo de Sistema de Gestión de la Energía de la norma ISO 50001:2011

5. CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA ESTADÍSTICA PARA UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE YESO CARTÓN A NIVEL DE FRONTERA COMERCIAL

5.1 ESTRUCTURA DE CONSUMOS ENERGÍA ELÉCTRICA

Antes de explicar la metodología estadística para determinar la capacidad media de eficiencia (CME) actual y la meta, es necesario definir la estructura energética de la empresa, la cual se resume en la figura 3.

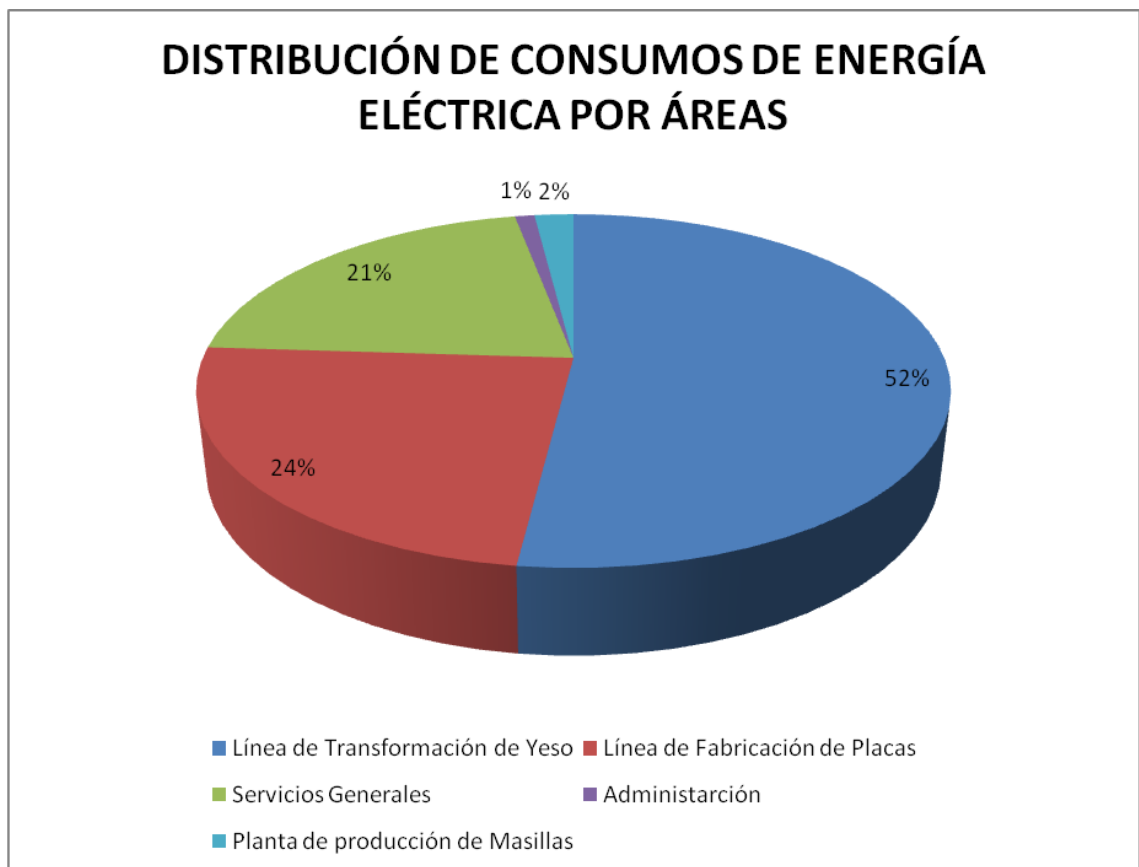


Figura 3 Distribución de consumos de energía eléctrica en la Planta de Producción de Placas de Yeso Cartón

Esta estructura de consumo muestra que el área energéticamente más intensiva es la Línea de Transformación de Yeso con un 52% del consumo

energético mensual promedio. La Línea de Transformación de Yeso consta de las siguientes etapas, según el diagrama energético productivo mostrado en la figura 4.

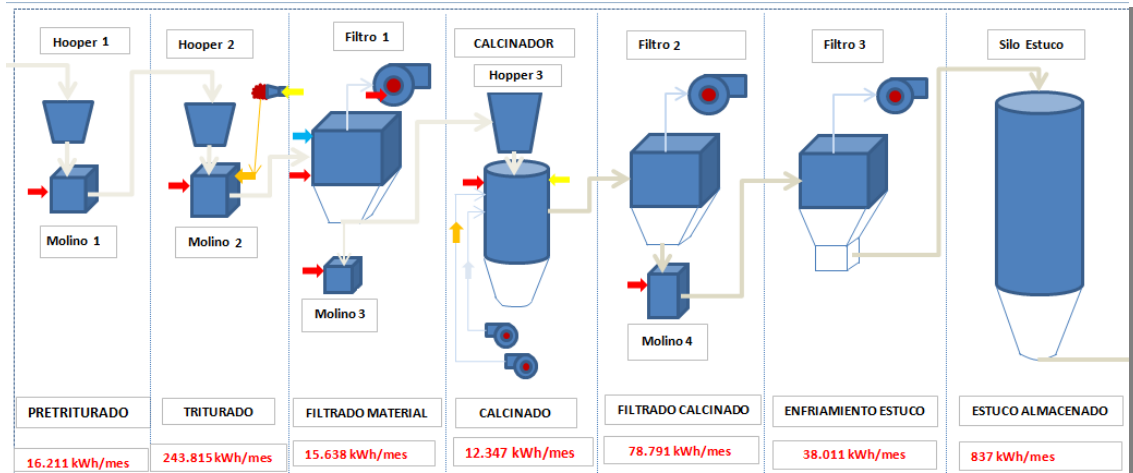


Figura 4 Diagrama energético productivo de la Línea de Transformación de Yeso

En segundo lugar se encuentra la Línea de Fabricación de Placas con un 24%, cuyo diagrama energético productivo mostrado en la figura 5.

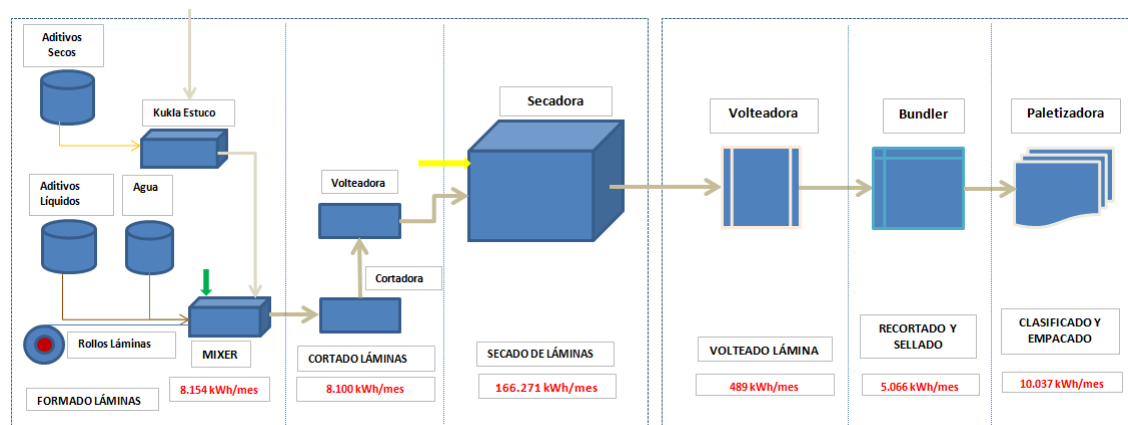


Figura 5 Diagrama energético productivo del proceso de la Línea de Fabricación de Placas

La tercera mayor consumidora es el área de Servicios Auxiliares (Iluminación y tomas) la cual tiene una participación importante con un 21%. Las demás áreas

de la empresa, como la Planta de Masillas con un 2% y el Área de Administración con un 1%, se caracterizan por unos consumos energéticos inferiores.

Desde el punto de vista de estratificación de los consumos energéticos, se emplea el Diagrama Pareto, en el que se organizan los consumos medidos y/o calculados, de manera descendente por magnitud y se resaltan aquellas cargas que siendo el 20% del total, demandan el 80% de la energía eléctrica total promedio de la planta. La figura 6 muestra el diagrama de Pareto para las cargas asociadas al consumo de energía eléctrica.

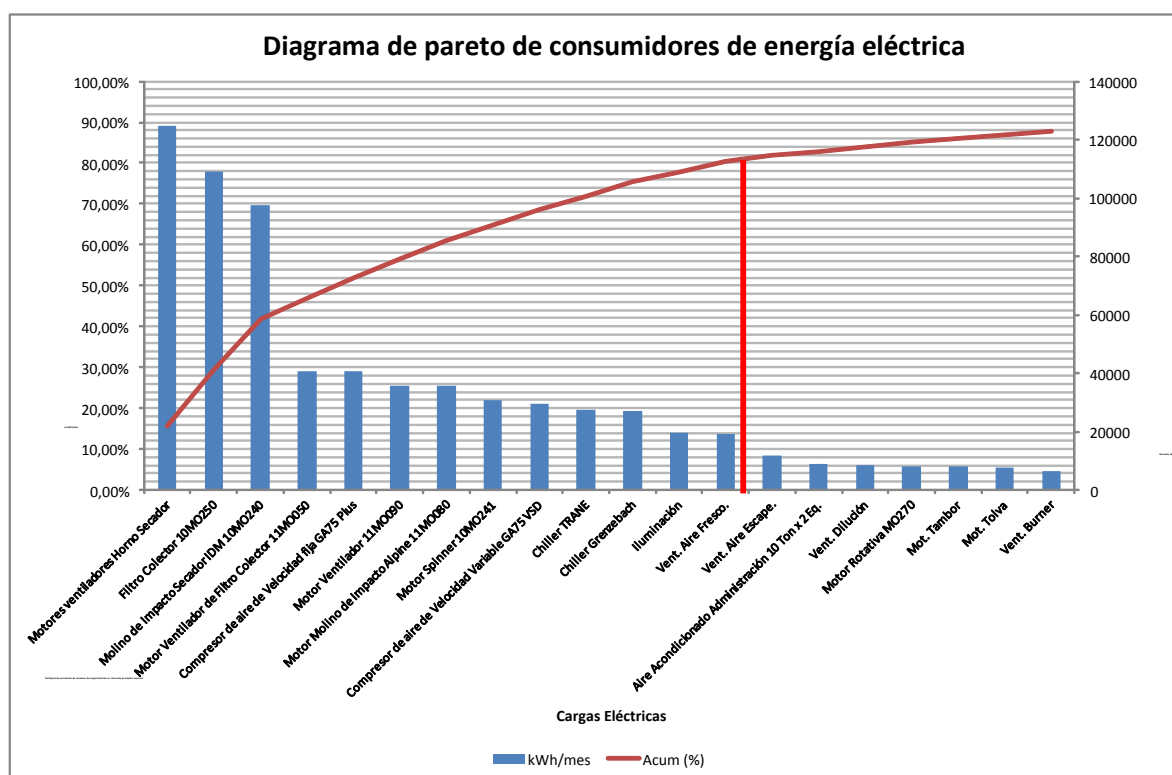


Figura 6 Diagrama de Pareto de consumidores de energía eléctrica

De acuerdo al diagrama anterior, las cargas más energéticamente intensivas son:

- ✓ Motores ventiladores del secador: 123734 kWh/mes
- ✓ Ventilador Filtro 1: 109080 kWh/mes

- ✓ Motor Molino 2: 95578 kWh/mes
- ✓ Compresor GA75 PLUS: 40500 kWh/ mes
- ✓ Compresor de velocidad variable GA75 VSD: 29376 kWh/mes
- ✓ Motor Molino MO215: 35677 kWh/mes
- ✓ Chiller Trane: 27637 kWh/mes
- ✓ Chiller KLH: 27000 kWh/ mes
- ✓ Sistema de iluminación: 19544 kWh/mes

Lo anterior indica, que todos los esfuerzos por diagnosticar sistemas eléctricos en la planta caso de estudio, deben concentrarse en las cargas anteriormente citadas, que por la magnitud de sus consumos, demandan más del 80% de la energía eléctrica de la planta. Más adelante, en la fase de diagnósticos de sistemas y equipos del presente informe de caracterización energética, estudiaremos con más detalle estos consumidores.

5.2 MODELO TEÓRICO DE CAPACIDAD MEDIA DE EFICIENCIA REAL (CMER) PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLACAS DE YESO CARTÓN PARA ENERGÍA ELÉCTRICA GLOBAL DE LA PLANTA

Los procesos de consumo eléctrico asociados con la producción de Placas de Yeso Cartón en la planta industrial objeto de este estudio, se pueden conceptualizar en el siguiente esquema:



Figura 7 Esquema de Consumos Energéticos para el Proceso Productivo de Fabricación de Placas de Yeso Cartón

$$E_{E i} = E_{Util i} + E_{No Util i} \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde:

$E_{E i}$ = Energía teórica de entrada al proceso como energía eléctrica y gas natural

$E_{Util i}$ =Energía útil, o energía efectiva convertida en trabajo útil o asociada a la producción

$E_{NoUtil i}$ =Energía no utilizada en el proceso productivo, energía no asociada a la producción (E_o)

La *Energía Útil* que se consume en el proceso productivo en cuestión, está asociado principalmente a los procesos de molienda de yeso natural y al proceso de secado de placas.

E_{OR} o $E_{No Util R i}$ = Energía no asociada a la producción real. Este término es una constante e indica el valor promedio de energía que no se transforma en energía útil en el proceso productivo. También incide en la obtención de éste término la variabilidad de la eficiencia en el sistema. Físicamente, éste término agrupa las pérdidas asociadas al funcionamiento nominal de los sistemas eléctricos y térmicos:

- Cambios tecnológicos en los equipos
- Variabilidad operacional del sistema
- Variabilidad en el mantenimiento del sistema
- Pérdidas reales o nominales en acoples y rodamientos
- Pérdidas reales o nominales por calentamiento
- Pérdidas reales o nominales de los variadores de velocidad
- Pérdidas reales o nominales por fugas o rendimiento volumétrico de las bombas
- Pérdidas reales o nominales por desbalance de corriente y voltaje admisible en motores eléctricos
- Pérdidas por estrangulamiento de válvulas o dampers de control de fluidos

Luego el modelo de capacidad media de eficiencia energética base en energía eléctrica, se puede verificar gráficamente en la figura 5, donde se han tomado los datos de consumos de energía eléctrica y la producción de la planta día a día desde el 17 de enero al 27 de diciembre de 2011.

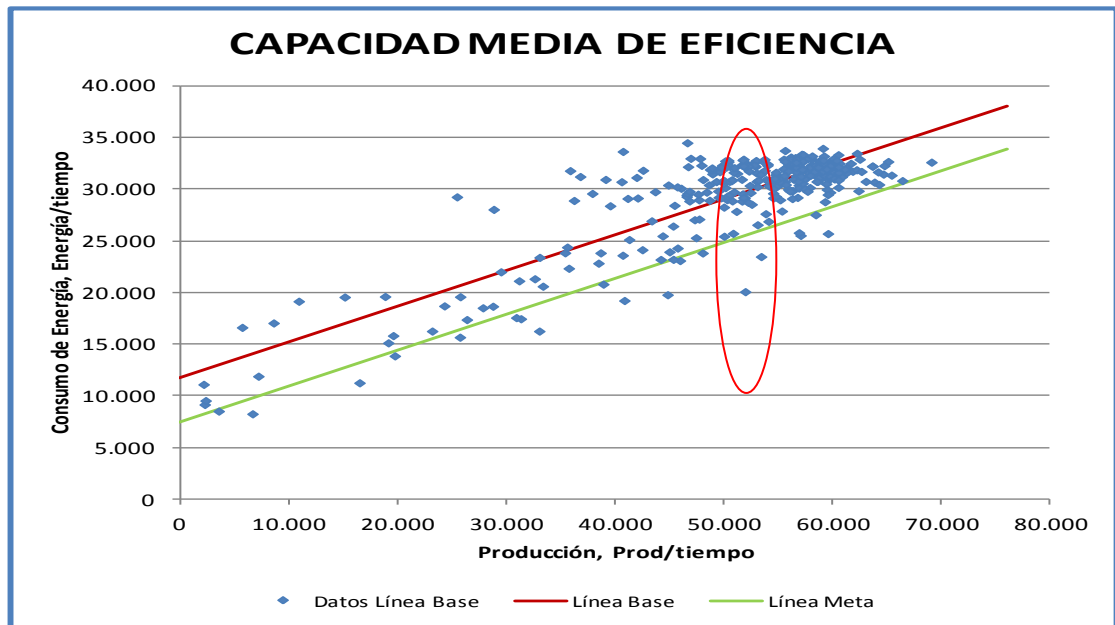


Figura 8 Línea base en energía eléctrica (CME real y meta), diaria, en frontera comercial.

Nótese la variabilidad de los consumos de energía eléctrica día a día en el círculo rojo, donde para niveles de producción muy similares (alrededor de los **52.000 m2/día**), se obtienen consumos diferentes; dicha variabilidad oscila entre los **20000 kWh/día** hasta **33000 kWh/día**, es decir una variabilidad de **13000 kWh/día**. Ésta podría estar asociada a la producción de diferentes referencias productivas en esos días, donde cada tipo de producto tendría un diferente consumo específico o ineficiencias en el proceso que aumentan los consumos energéticos no asociados a la producción. Esto solo sería validado mediante la implementación de un sistema de control y monitoreo de la energía a largo plazo.

La metodología utilizada propone un análisis físico-estadístico del proceso de fabricación de Placas de Yeso Cartón, con una modelación lineal de las

variaciones reales del consumo de energía eléctrica en función de la producción de la planta, obteniéndose la CME para las operaciones del proceso productivo [4].

El modelo de variación del consumo de energía eléctrica (Regresión lineal roja de la figura 8), en función del nivel de producción y la eficiencia con que se utilizan los equipos de uso final de energía eléctrica, se representa matemáticamente de acuerdo a lo mostrado en la ecuación 1:

$$E(P) = 0,35 * P + 11690 \text{ (kWh / día) – Ecuación 1}$$

Lo anterior explica, que para producir 1 m² de placas de yeso cartón se consume **0,35 kWh/día** con el nivel tecnológico actual de la planta analizada. Adicionalmente, en 1 día, en promedio se consumen **11690 kWh/día** que no están directamente asociados a la producción, sino que se deben a ineficiencias operacionales, de mantenimiento o ambas. Esta energía se conoce como Energía No Asociada a la Producción (E_o), que en este caso equivale al **25%** del consumo promedio diario de la planta.

Nótese adicionalmente, que el nivel de correlación entre la variación del consumo de energía eléctrica y la producción es del **73%**, es decir que solo el **73 %** de las variaciones del consumo de energía eléctrica se deben a variaciones de producción, el resto es por razones de eficiencia energética a validar en un posterior diagnóstico.

5.3 MODELO REAL META DE CME PARA ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL DE FRONTERA COMERCIAL

El modelo real meta de CME (lineal verde de la figura 8) se obtiene de la regresión lineal de las mejores operaciones para cada nivel de producción, es decir, de los puntos que están por debajo de la línea de CME Real.

Matemáticamente este modelo se representa mediante la siguiente ecuación:

$$E(P) = 0,35 * P + 7493 \text{ (kWh / día) – Ecuación 2}$$

La ecuación 2 muestra la CME Real Meta, que como su nombre lo indica, es la meta de eficiencia real del proceso, ya que está dada por puntos que representan las mejores prácticas operacionales de la planta durante el periodo de construcción de la línea base. La CME Real Meta se caracteriza por tener los mismos términos de la ecuación de CME Real, con la diferencia de E_{ORN} , ya que para los mejores puntos de operación, la energía no asociada a la producción real disminuye. Este término es una constante e indica el valor promedio de energía que no se transforma en energía útil para las mejores operaciones del proceso en un nivel de producción dado.

Nótese que la pendiente la ecuación 1 es igual a la de la ecuación 2 (**0,35 kWh/día**), lo cual significa que se continúa con la tecnología actualmente instalada en la planta, ya que el índice tecnológico se mantiene.

La energía no asociada a la producción actual, como se menciona en ecuación 1 es de **11690 kWh/día**, mientras que la energía no asociada a la producción alcanzable, según ecuación 2, es de **7493 kWh/día**, lo cual representa un potencial de reducción de **4197 kWh/día**, que al mes, utilizando un factor de utilización de la planta, según los históricos, promedio del **75%**, equivalen a **94432 kWh/mes**, que en pesos son **\$ 26.629.965 al mes**.

5.4 VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSUMO CON LA PRODUCCIÓN

Tradicionalmente los índices de consumo son definidos independientes del nivel productivo que se presenta en los procesos. Esto ocasiona que se llegue a conclusiones erróneas e interpretaciones inadecuadas del estado de eficiencia de la empresa.

Matemáticamente, teniendo en cuenta que el índice de consumo se define como energía utilizada para producir cierto nivel de producción dividido sobre el nivel de producción respectivo, se puede dividir ambos lados de la ecuación 1 sobre P, obteniéndose:

$$E/P = IC = 0,35 + 11690/P \text{ [kWh/m}^2\text{]} - \textit{Ecuación 3}$$

La ecuación anterior indica una relación inversamente proporcional entre el nivel de producción y el índice de consumo, que significa que a altos niveles de producción disminuye el índice de consumo del proceso y viceversa, lo que revela la importancia de la planeación en el mejor aprovechamiento energético de las instalaciones.

La Figura 7, en donde se grafican los datos reales de índices de consumo históricos en el periodo estudiado, muestra que si se estimara éste como una constante y no como una función de la producción, no sería de verdadera utilidad para medir la eficiencia para todos los niveles de producción y sólo sería útil para evaluarla a altos niveles de producción, ya que en esta parte de la gráfica, la línea tiende a ser asintótica al valor constante de seguimiento.

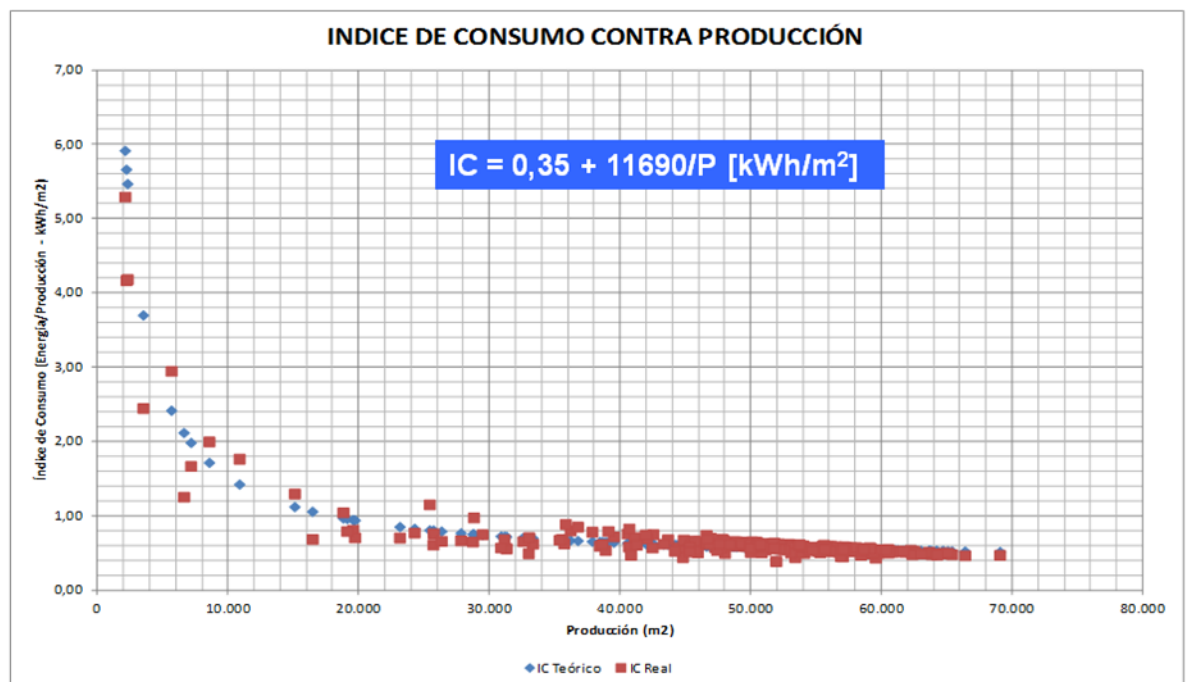


Figura 9 Gráfico de Variación del Índice de Consumo con la producción para energía eléctrica

De la figura 9 de variación del índice de consumo se tiene que:

- Entre mayor sea la rata productiva el desempeño energético mejora naturalmente.

- El Índice de Consumo promedio registrado en el proceso es de **0,65 [kWh/m²]**.
- El índice mínimo alcanzable para una gestión ideal de la producción se obtiene cuando se trabaja a niveles productivos cercanos a la pme (producción a la máxima eficiencia), que en este caso es de **69053 m²**. Con esta producción se pueden alcanzar IC del orden de **0,516 [kWh/m²]**
- La optimización del índice de consumo por planeación de la producción, representaría ahorros en energía eléctrica mensuales del orden **3108 [kWh/día]** equivalentes a **\$ 876.456** diarios ó **\$ 19.720.260** mensuales aproximadamente.

5.5 POTENCIALES DE AHORRO

El resumen de potenciales de ahorro mostrado a continuación es inferido de la disminución de la ENAP (Energía No Asociada a la Producción) por mejoras operacionales y de mantenimiento y se obtiene al pasar de la condición operativa promedio a la meta, según el gráfico de CME mostrado en las figura 9. El otro potencial señalado, por mejoras en la planeación de la producción, se obtiene de analizar las disminuciones del índice de consumo promedio actualmente presentado al índice de consumo a la producción máxima, donde se obtiene un mejor desempeño energético de la línea (Ver figura 9).

Potenciales de Ahorro de Energía Alcanzable energía eléctrica						
Por mejores prácticas operacionales y de mantenimiento			%	Por planeación de la producción		%
Porcentaje de Ahorro			12	Porcentaje de Ahorro		9
	Ahorro (kWh)	Ahorro (\$)		Ahorro (kWh)	Ahorro (\$)	
Diario	4197	1.183.554	Diario	3108	876.456	
Mensual	94432	26.629.965	Mensual	69930	19.720.260	

Anual	1133184	319.557.888	Anual	839160	236.643.120
-------	---------	-------------	-------	--------	-------------

Tabla 1 Potenciales de ahorro resumidos – Frontera Comercial

Se cuenta con un potencial de ahorro del 12% del consumo promedio diario de energía eléctrica, equivalente a 4197 kWh/día. Esto puede representar un ahorro de 319 millones al año con la Implementación de un Sistema de Gestión Integral de la Energía y sin la realización de inversiones significativas.

Las mejoras que aquí se consignan como posibles por una mejor planeación de la producción, en realidad están relacionadas con el indicador de tiempo real de producción sobre tiempo total disponible, ya que la planeación de la producción de la planta en mención es siempre en base a 24 horas al día, 7 días a la semana; en otras palabras, los días de bajas producciones están relacionados con paradas de planta programadas y no programadas, ya sea por problemas de producción o de mantenimiento.

5.6 ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CONSUMO CONTRA LA CME

El análisis de tendencia contra la CME se obtiene de la comparación de los consumos de energía real versus el consumo de energía esperado según la ecuación de CME real. Como resultado, se obtienen las variaciones relativas de ahorro o sobreconsumo diario acumulado de energía del periodo base con relación a su capacidad de comportamiento medio. El análisis de este gráfico ayuda a identificar los días del periodo en los que cambió la tendencia en el consumo de energía, que marcan el cambio de estado en el sistema analizado, es decir, un cambio en la eficiencia. El origen de estas variaciones encuentra explicación en el cambio de las condiciones operacionales y de mantenimiento del mismo. Es característico que el gráfico de tendencia contra la CME comience y termine en cero ya que se basa en un gráfico de regresión por el método de los mínimos cuadrados.

En la figura 10 se muestra el gráfico de tendencia de consumos, en él se observan los cambios de tendencia más importantes durante el periodo de análisis comprendido entre el 17 de enero al 27 de diciembre del año 2011.

En el periodo que va desde el 17 de enero al 27 de mayo (puntos 1 y 2), la tendencia es sostenida al ahorro. A partir del punto 2, hasta el punto 3, la tendencia al ahorro disminuye, hasta llegar a 3 donde comienzan a generarse desahorros, exactamente desde el día 04 de Agosto de 2011, a partir de esta fecha la tendencia es al desahorro, demostrando que durante este periodo se encuentra el mayor número de estados operativos por encima del comportamiento medio de eficiencia.

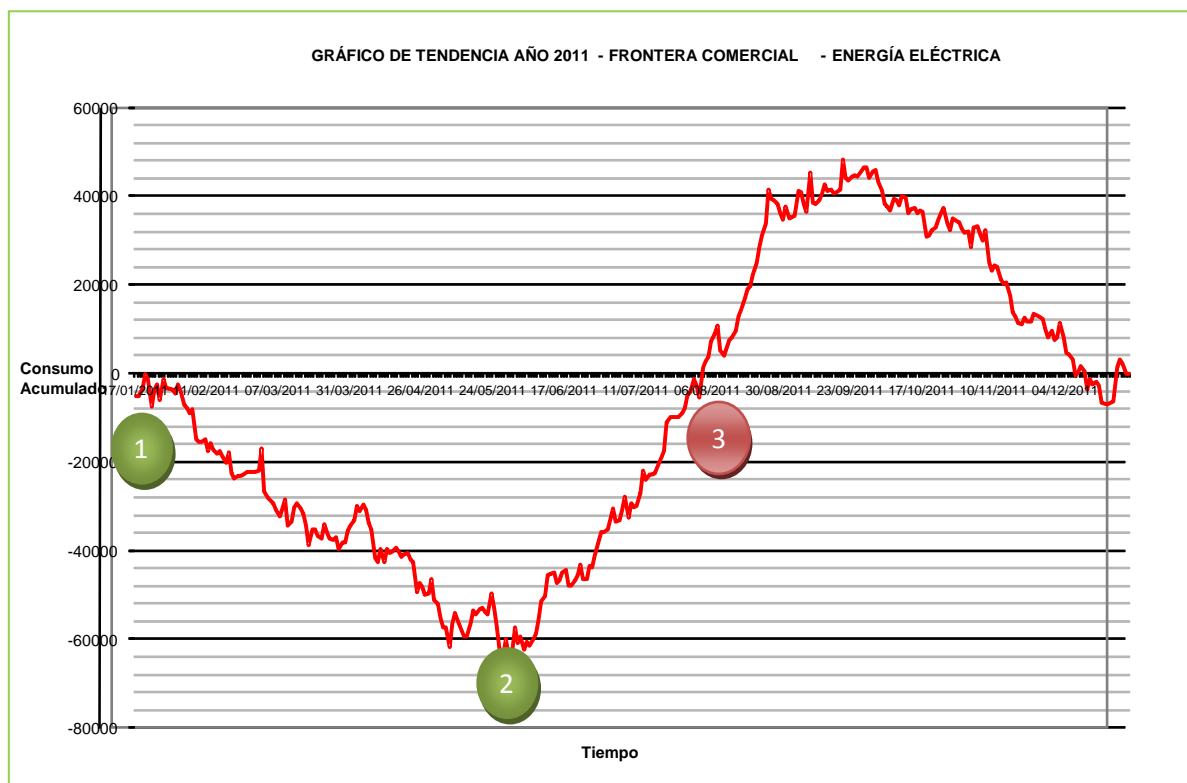


Figura 10 Gráfico de tendencia de consumos periodo 2011 día a día

También se puede evaluar como se ha comportado la tendencia de los consumos energéticos de 2012 mes a mes, con respecto a la CME_R de 2011, sustituyéndose las producciones de 2012 mensuales en la ecuación 4, lo que permite obtener la tendencia de eficiencia de 2012 con respecto a 2011. Ver figura 11.

Nótese que en el análisis mes a mes de lo corrido de 2012 con respecto a 2011, se sostiene la tendencia al ahorro, que se mostro en el análisis día a día que se hizo de 2011 contra su propia CME_R .

Aunque hay una tendencia al ahorro, no es producto de un proceso de mejora continuo, por lo que resulta imprescindible enmarcarlo en un proyecto de gestión energética que permita sostener esta tendencia a largo plazo, e identificar las causas de estos ahorros para incluirlas al grupo de variables de control a monitorear en un SGIE. Hasta marzo de 2012 se tiene un ahorro acumulado de **109.229 kWh**, equivalentes a **\$ 31.021.036**.



Figura 11. Tendencia de eficiencia 2012 con respecto a CME_R de 2011 mes a mes en energía eléctrica

5.7 ANÁLISIS DE INDICADORES ENERGÉTICOS

Como ya se mencionó anteriormente, es normal que en las empresas se defina el índice de consumo como una constante no dependiente del nivel de producción y que al momento de realizar el presupuesto se estime la energía a consumir con una relación lineal simple con la producción presupuestada mes a mes, pero que desconoce las diferencias en eficiencia de cada uno de los niveles de producción presupuestada.

La figura 12 muestra la misma figura 9, pero se incluyó el índice de consumo plano (línea roja continua) que se estimó como presupuesto para 2012 en la planta de producción de yeso cartón objeto de la caracterización.

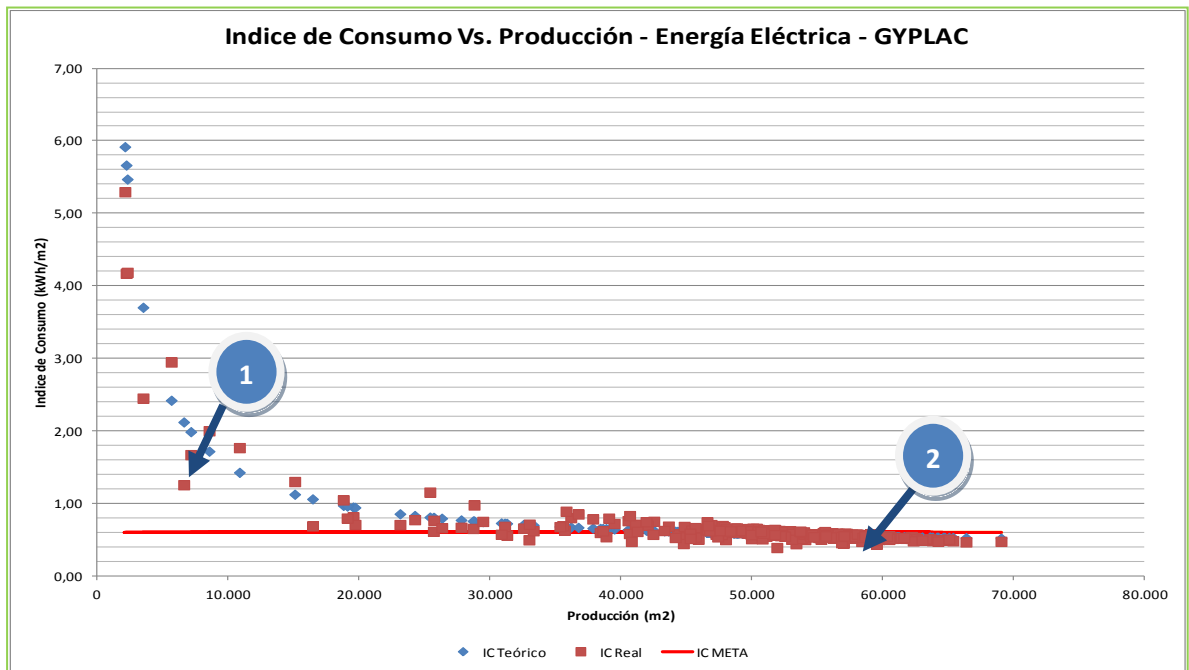


Figura 12. Análisis de índice de consumo ISO 50001:2011 vs. Índice de consumo convencional

Nótese que el dato señalado por el círculo azul 1, puede ser evaluado como ineficiente energéticamente hablando si se aplica el modelo tradicional de índice de consumo constante (IC_{PLANO}), ya que se encuentra por encima de la línea horizontal roja que representa el objetivo. Pero si este mismo punto se evalúa con el modelo de línea teórica del método ISO 50001:2011 para

indicador de consumo, se puede concluir que este fue un día eficiente, dado que históricamente para ese nivel de producción, en el periodo base, se tuvieron consumo de energía eléctrica mayores. Caso contrario ocurre con el dato señalado por el círculo azul 2, donde se hubiera felicitado al gerente de energía por haber caído por debajo de la línea roja, pero realmente con respecto a la curva de capacidad media de eficiencia de la planta, se fue ineficiente, por lo cual no hay motivos para la felicitación.

5.8 ANÁLISIS DE LA PLANIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El presupuesto energético de las empresas se caracteriza generalmente por ser menor que el año inmediatamente anterior, fundamentado en el hecho de que se debe ser cada vez más eficiente. Esta disminución oscila entre un 5% y un 10% y se toma sin tener en cuenta los potenciales de ahorro reales teniendo en cuenta el índice tecnológico actual de la planta y la energía no asociada a la producción. Este cálculo no tiene una fundamentación técnica sólida ya que no considera la eficiencia máxima que puede alcanzar el proceso con base a la capacidad media de eficiencia (CME_R), por ende se puede estar realizando un presupuesto inalcanzable o en algunos casos, uno demasiado generoso.

El presupuesto de energía debe construirse a partir de la producción presupuestada mes a mes del año siguiente (2012), y sustituyéndola en la ecuación de CME_R del año inmediatamente anterior (2011) con los datos mes a mes que para el caso se muestra en la ecuación 4 (se debe tener en cuenta que la ecuación 1 expresa la regresión lineal con los datos día a día):

$$E(P) = 0,49 * P + 131786 \text{ (kWh / mes)} - \text{Ecuación 4}$$

De esta forma se obtiene el consumo energético alcanzable por mes, de acuerdo a la capacidad real de eficiencia de proceso.

La tabla 2 muestra el ejercicio de comparar el presupuesto obtenido de manera tradicional con el presupuesto utilizando el método de la CME_R del año inmediatamente anterior.

m	0,4988	PRESUPUESTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA 2012					
Eo	131786						
MES	Producción bruta (m2) - Presupuesto	Energía Presupuestada por método tradicional (kWh/mes)	Energía Prepsupuestada por método ISO 50001 (kWh/mes)	Producción bruta (m2) Real	Consumo Real 2012 (kWh/mes)	Consumo real esperado con la producción real de 2012 (kWh/mes)	Energía Real Presupuestada - Energía presupuestada por método ISO 50001 (kWh/mes)
ene-12	546133	326082	364661	587612	386306	385351	-38580
feb-12	999278	596643	590690	1128768	626390	655279	5953
mar-12	936782	559328	559517	1142009	613358	661884	-189
abr-12	963709	575405	572948	0	0	0	2457
may-12	1067769	637537	624853	0	0	0	12683
jun-12	1086086	648474	633990	0	0	0	14484
jul-12	1123537	670835	652671	0	0	0	18164
ago-12	1097935	655548	639900	0	0	0	15648
sep-12	1120447	668990	651129	0	0	0	17860
oct-12	1176304	702340	678991	0	0	0	23350
nov-12	1100489	657073	641174	0	0	0	15899
dic-12	983515	587231	582828	0	0	0	4404

Tabla 2 Presupuesto de energía eléctrica método ISO 50001:2011

Nótese que en el mes de enero de 2012, en el presupuesto se estima un consumo de energía eléctrica de **326082kWh/mes** para una producción presupuestada en ese mes de **546133m²**. Sin embargo, asumiendo esa producción presupuestada y sustituyéndola en la ecuación 4, el consumo esperado según la CME_R sería de **364661kWh/mes**, es decir de acuerdo a la capacidad media de eficiencia real del proceso, no es posible alcanzar el consumo presupuestado en enero de 2012 para la producción presupuestada en ese mes. Ahora, en ese mes la producción bruta real fue **587612m²**, la cuál al ser reemplazada en la ecuación de CME_R muestra un consumo estimado de **385351kWh/mes**, mientras que el consumo real fue de 386306 kWh/mes, sólo **955kWh/mes** por encima.

5.9 ANÁLISIS DE LA FACTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Es pertinente y de gran utilidad tener a la mano una herramienta de análisis que nos permita diferenciar en la factura de energía eléctrica de cada mes, que

tanto de la variación de consumo y de facturación es debido a variación de la producción y que tanto a variación de la eficiencia del proceso. La metodología de herramientas de gestión energética presentada en la ISO 50001:2011 ofrece esta herramienta que nos permite tomar acciones correctivas cuando la ineficiencia del proceso genere un sobre costo en el pago por concepto de energía eléctrica.

El modelo de análisis de esta variación se presenta en la ecuación 5:

$$\Delta E = m(P_1 - P_2) + (E_1 - E_{T1}) - (E_2 - E_{T2}) \text{ - Ecuación 5}$$

Donde:

P₁ y P₂: Producciones reales de los meses 1 y 2

E₁ y E₂: Consumos de energía reales de los meses 1 y 2

E_{T1} y E_{T2}: Consumo de energía teórico hallado por la LB para la producción 1 (P₁) y la producción 2 (P₂)

De la ecuación 5, los dos componentes de la misma, se explican así:

$$m(P_1 - P_2) = \text{Variación del consumo por producción}$$

$$(E_1 - E_{T1}) - (E_2 - E_{T2}) = \text{Variación del consumo por eficiencia}$$

Aplicando este análisis para los tres meses iniciales de 2012, y aclarando que la ecuación de línea base mensual, a nivel de frontera comercial para energía eléctrica es:

$$E = 0,4988 * P + 131786 \text{ kWh/mes - Ecuación 6}$$

Podemos resumir lo siguiente, analizando entre enero y febrero de 2012 en la tabla 3.

m	0,4988	ANÁLISIS DE VARIACIONES DE CONSUMO EN FACTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA				
Eo	131786					
Mes	Producción Real (m2/mes)	Energía Real (kWh/mes)	Energía Teórica (kWh/mes)	Variación de Consumo por producción (kWh/mes)	Variación de consumo por eficiencia (kWh/mes)	Variación Neta (kWh/mes)
ene-12	587612	386306	385351	0	0	0
feb-12	1128768	626390	655279	269929	-29844	240084
mar-12	1142009	613358	661884	6605	-19638	-13033
abr-12						0
may-12						0
jun-12						0
jul-12						0
ago-12						0
sep-12						0
oct-12						0
nov-12						0
dic-12						0

Tabla 3 Análisis de variaciones de consumo energético en factura de energía eléctrica

Nótese que entre febrero y enero de 2012, la variación neta de consumo de energía eléctrica fue de **240084 kWh**. De esta variación neta, **269929 kWh/mes** fueron por aumento de la producción, sin embargo al aumentar la eficiencia debido al aumento del nivel de producción, se tuvo una reducción de **29844 kWh**.

Se concluye la utilidad de esta herramienta de análisis de factura de energía, para determinar cuándo se deben tomar acciones preventivas en torno a la eficiencia energética de la planta.

6. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético a los equipos consumidores de energía eléctrica consistió en la evaluación del desempeño energético en los equipos y procesos de producción y de servicios dedicados a la generación de energéticos secundarios (aire comprimido, aire caliente, y agua fría) utilizados para el desarrollo del proceso productivo.

De los equipos a considerar para el análisis energético se tienen los de mayor consumo de energía; estos son los siguientes a tener en cuenta: los ventiladores de la línea de transformación de yeso, los cuales se llamarán de ahora en adelante en este documento como Ventilador del Filtro 1, Ventilador 2 y Ventilador 3, las unidades de servicio de aire comprimido y las unidades de refrigeración de agua fría.

6.1 VENTILADORES DE LA LÍNEA DE TRANSFORMACIÓN DE YESO

Los ventiladores de esta área que fueron considerados teniendo en cuenta el pareto del consumo de energía eléctrica. Su consumo se encuentra alrededor de los 187.000 kWh/mes que representan un costo de 638,6 millones de pesos al año.

6.1.1 Ventilador del Filtro 1

Este equipo tiene un consumo promedio de energía eléctrica de 110.000 kWh/mes y una demanda de potencia promedio de 202 kW. La función principal de este ventilador es la de generar un tiro para el transporte del yeso natural molido precalentado proveniente del molino Williams hasta llevarlo hacia el filtro 1, donde será filtrado, separándose del aire caliente que será enviado al ambiente. En la figura 13 se presenta un esquema del Sistema del cual hace parte este equipo, mostrando las entradas y salidas de material y aire en cada componente de dicho sistema.

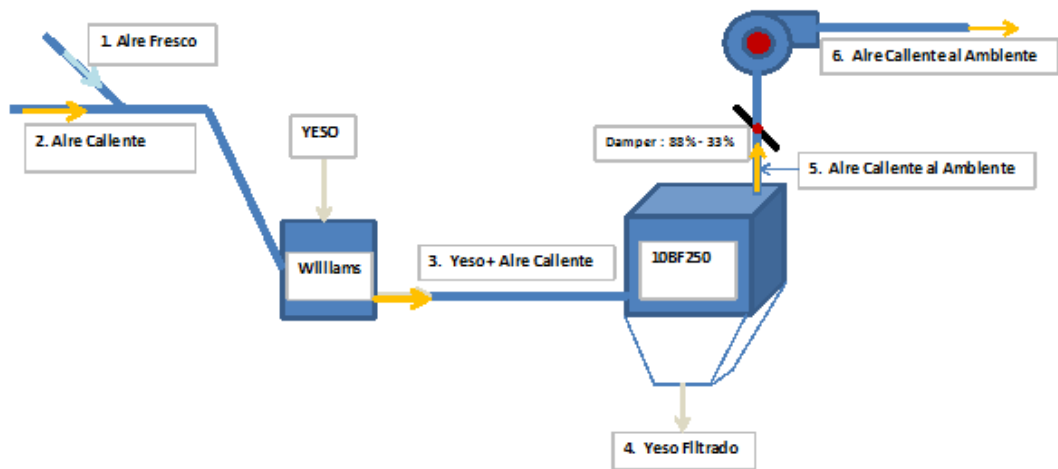


Figura 13 Esquema Ventilador MO250 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Molienda y Filtrado de Partículas.

A continuación se presenta un análisis de las condiciones de operación y desempeño del ventilador del Filtro 1 con miras a la identificación de potenciales de ahorro de energía eléctrica en dicho equipo.

7.1.1.1 Análisis de Desempeño Energético

En condiciones normales, el ventilador del filtro 1 se encuentra operando con regulación del flujo de aire con la estrangulación de un dámper a la succión, el cual se encuentra en un porcentaje de variación entre el **33%** y **88%**; en la figura 14, se aprecia el comportamiento de la apertura del dámper de este equipo. De acuerdo a las mediciones realizadas, este equipo desplaza un flujo de aire de alrededor de **48000 m³/hr** con una cabeza de presión de **683 mca**, y la demanda de potencia promedio es de **203 kW**.

Dentro el análisis realizado se tiene que el equipo tiene una eficiencia del **58,56%**, en donde utiliza **112,9 kW** de potencia neumática para el transporte del yeso con aire inducido, la eficiencia según curva es del orden del **60%**. La relación **m³ aire /Kg yeso** es equivalente a las **3** unidades. En la tabla 11, se presenta los resultados del análisis del desempeño de este ventilador.

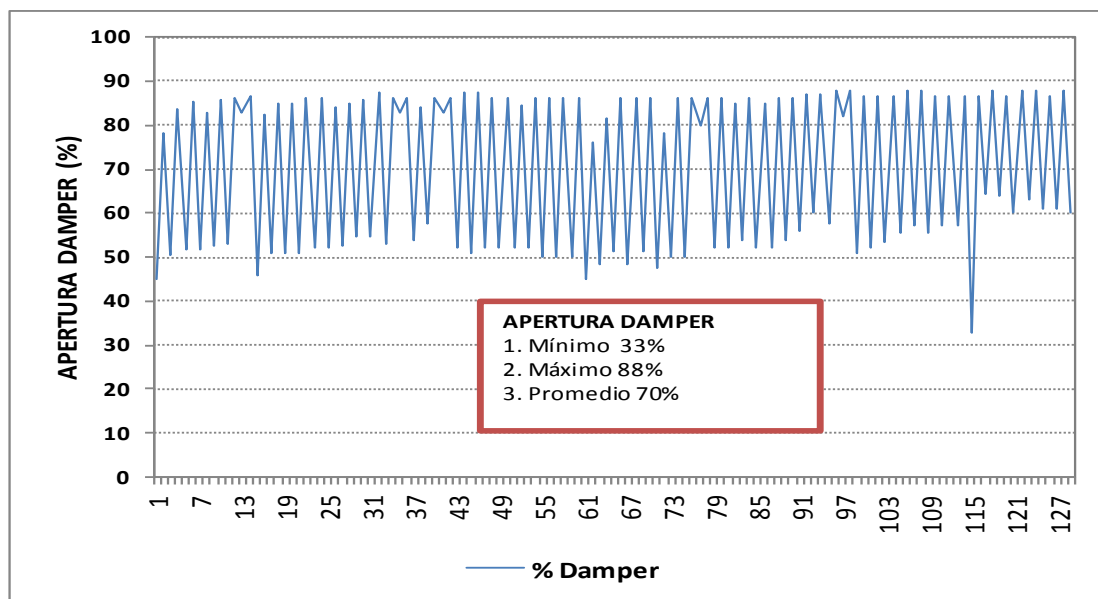


Figura 14 Comportamiento de la apertura del dámper del ventilador del filtro 1.

Variables	Unidades	Valores
Eficiencia Ventilador	58,56%	%
Eficiencia Ventilador curva	59,54%	%
Pot neumática	kW	112,9
Densidad aire	kg/m ³	0,932
Densidad yeso	kg/m ³	1800,0
Densidad mezcla aire - yeso	kg/m ³	1,265
Flujo aire	m ³ /h	47958,9
Flujo yeso	m ³ /h	8,9
Masa aire	kg/h	44697,7
Masa yeso	kg/h	16000,0
Cabeza de presión	mca	683,0
Factor de corrección	-	1,4
Relación m³ aire/Kg yeso	-	3,0
Pot mecánica	kW	192,88
Pot eléctrica	kW	202,9
Eficiencia Motor	%	95%

Tabla 4 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador del Filtro 1.

7.1.1.2 Potenciales de Ahorro de Energía

Como medidas de mejora para la reducción de los consumos de energía eléctrica en el ventilador del Filtro 1 se plantea:

a. La posibilidad de la instalación un variador de velocidad:

En la figura 15, se muestra el comportamiento de la caída de presión del sistema frente a la estrangulación del Dámper. Dicha caída de presión genera pérdidas de energía neumática que son asumidas por el conjunto motor – ventilador en forma de energía eléctrica. De acuerdo a estas caídas de presión según el porcentaje de dámper hay un potencial de reducción del consumo de este equipo.

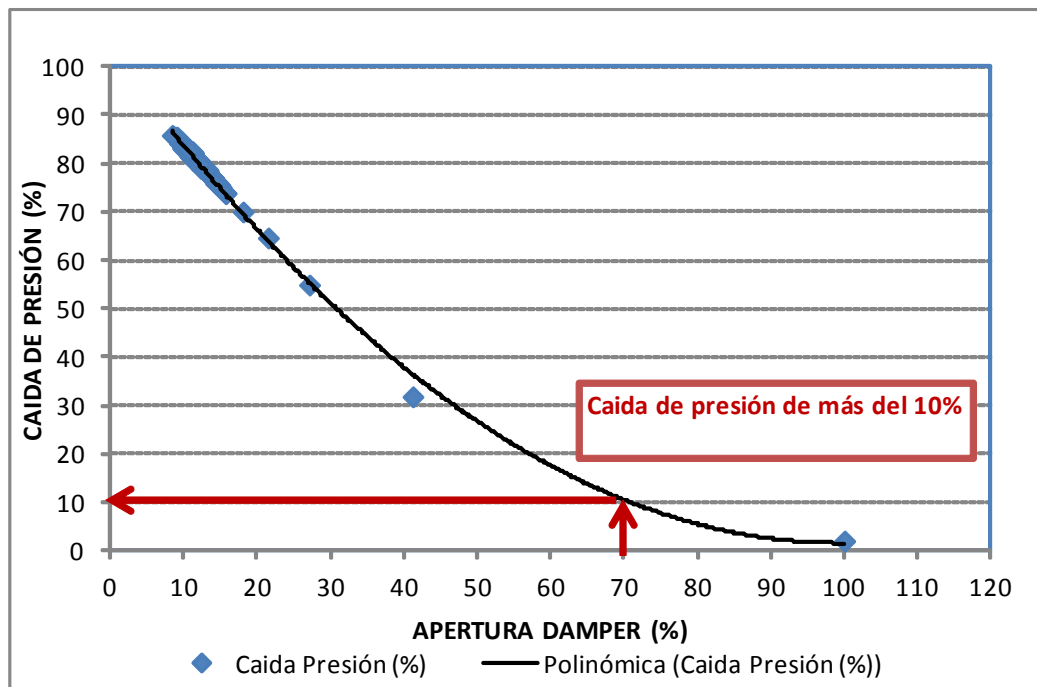


Figura 15 Comportamiento típico de la caída de presión frente a la apertura del dámper del ventilador del Filtro 1.

Según estimaciones se tiene una caída de **70,1 mmca** que representan una pérdida de energía de casi **21 kW**, para un flujo de aire **48000 m³/h** lo que representa una reducción del **10,26%** frente al consumo actual de ventilador.

b. El ajuste de la relación m³ de aire /Kg de yeso:

Por otro lado, es posible realizar un ajuste de la cantidad de aire necesario para transportar el yeso natural precalentado. Actualmente se tiene una relación de **3 m³ de aire/Kg de yeso**. Si se reduce esta relación a un valor de **2,2 m³ de aire/Kg de yeso**, teniendo en cuenta las condiciones a las cuales se encuentran el yeso para ser transportado, se disminuye el flujo de aire en **28600 m³/h**, esto representa una reducción de la demanda de potencia en **42 kW**.

6.1.2 Ventilador 2

El ventilador 2 presenta un consumo promedio de energía eléctrica de **36.200 kWh/mes** y una demanda de potencia promedio de **66,35 kW**. La función principal de este ventilador es transportar y enfriar el estuco procesado proveniente del Filtro del Calcinador hasta el filtro de enfriamiento, para ser almacenado y filtrado. En la figura 16 se presenta un esquema del Sistema del cual hace parte éste equipo con las respectivas entradas y salidas de materia y aire de transporte.

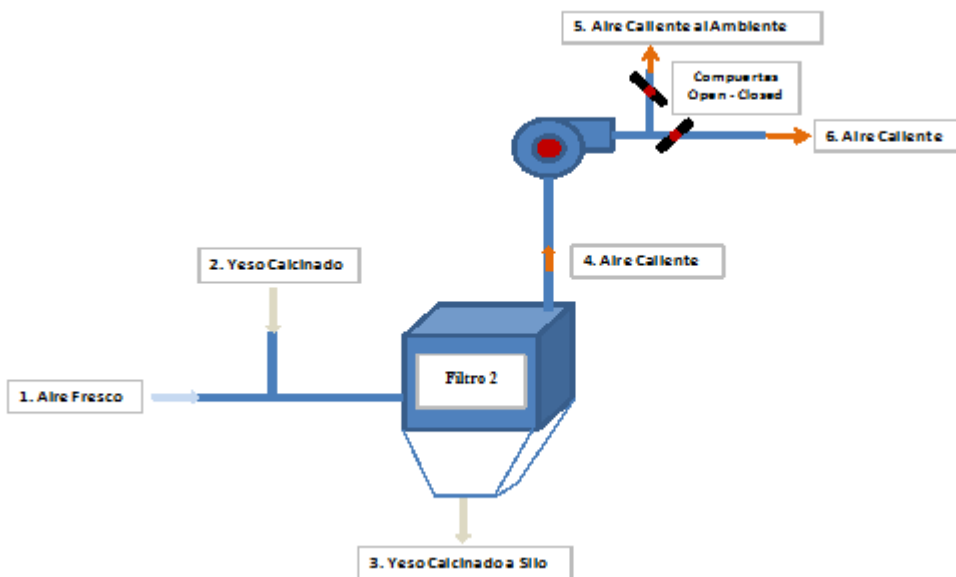


Figura 16 Esquema Ventilador 2 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Enfriamiento de Estuco.

7.1.2.1. Análisis de Desempeño Energético

El ventilador MO090 se encuentra operando sin ninguna regulación mecánica; este equipo toma aire fresco del ambiente para transportar y enfriar el estuco procesado como se mencionó anteriormente. De acuerdo a las mediciones realizadas, este equipo desplaza un flujo de aire de alrededor de **34500 m3/hr** y la demanda de potencia promedio es de **66 kW**.

La relación **m3 aire /Kg yeso** es equivalente a las **2,1** unidades. En la tabla 5, se presenta los resultados del análisis del desempeño de este ventilador. La eficiencia estimada actual de este ventilador es del **75,48%**, valor que se encuentra aceptable, de acuerdo a la curva de este ventilador, el cual es del **76,39%**.

Variables	Unidades	Valores
Eficiencia Ventilador	75,48%	%
Eficiencia Ventilador curva	76,39%	%
Pot neumática	kW	47,6
Densidad aire	kg/m3	0,963
Densidad yeso	kg/m3	1800,0
Densidad mezcla aire - yeso	kg/m3	1,428
Flujo aire	m3/h	34346
Flujo yeso	m3/h	8,9
Masa aire	kg/h	33058,5
Masa yeso	kg/h	16000,0
Cabeza de presión	mca	356,0
Factor de corrección	-	1,5
Relación m3 aire/Kg yeso	-	2,1
Pot mecánica	kW	63,03
Pot eléctrica	kW	66,35
Eficiencia Motor	%	95%

Tabla 5 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador 2

7.1.2.2. Potenciales de Ahorro de Energía

Como medidas de mejora para la disminución de los consumos de energía eléctrica en el ventilador MO090 se plantean las siguientes alternativas:

a. La posibilidad de la instalación un variador de velocidad:

Teniendo en cuenta que el ventilador **MO090** no tiene ninguna regulación del flujo de aire, es posible instalar un variador de velocidad que disminuya el flujo de aire en función de la cantidad de estuco transportado a enfriar y a una temperatura a la cual esta debe ser enfriada.

Como se sabe se tiene una relación m³ de aire/Kg de yeso es de **2,2** según las estimaciones, es posible de acuerdo a las variaciones de la tasa de producción mantener dicha relación con la disminución del flujo de aire de este ventilador. Para el caso del enfriamiento de 12 Toneladas/hora de estuco se tendría un flujo de aire manejado por el ventilador 2 de alrededor de **27000 m³/h**, lo cual representaría una reducción de la demanda de potencia en **38 kW**, pasando a un valor **28 kW**. La implementación de esta medida dispondría de un sistema de control en donde regulará la cantidad de aire en función de la producción y la temperatura de estuco enfriado.

b. Ajuste de la relación m³ de aire /Kg de yeso:

Teniendo en cuenta las condiciones físicas de estuco, es posible ajustar la relación aire /estuco; este se encuentra en **2,2**. Asumiendo que esta relación se puede llevar a un valor inferior a **1,9 m³ de aire/Kg yeso** se tendría un valor del flujo de **30400 m³/h** (5300 m³/h menos), para una producción de 16 Toneladas – hora.

6.1.3 Ventilador 3

El consumo promedio de energía eléctrica de este ventilador es de aproximadamente **41.000 kWh/mes** equivalentes un costo de **11,6** millones de

pesos mensuales, y tiene una demanda de potencia promedio de **75 kW**. Este ventilador tiene la función de generar un tiro para el transporte del estuco proveniente del calcinador hasta llevarlo hacia el filtro 3 para ser filtrado extrayendo aire caliente, una parte hacia el ambiente y otra a la succión del ventilador de dilución **MO045**. En la figura 17 se aprecia un esquema del sistema del que hace parte este ventilador.

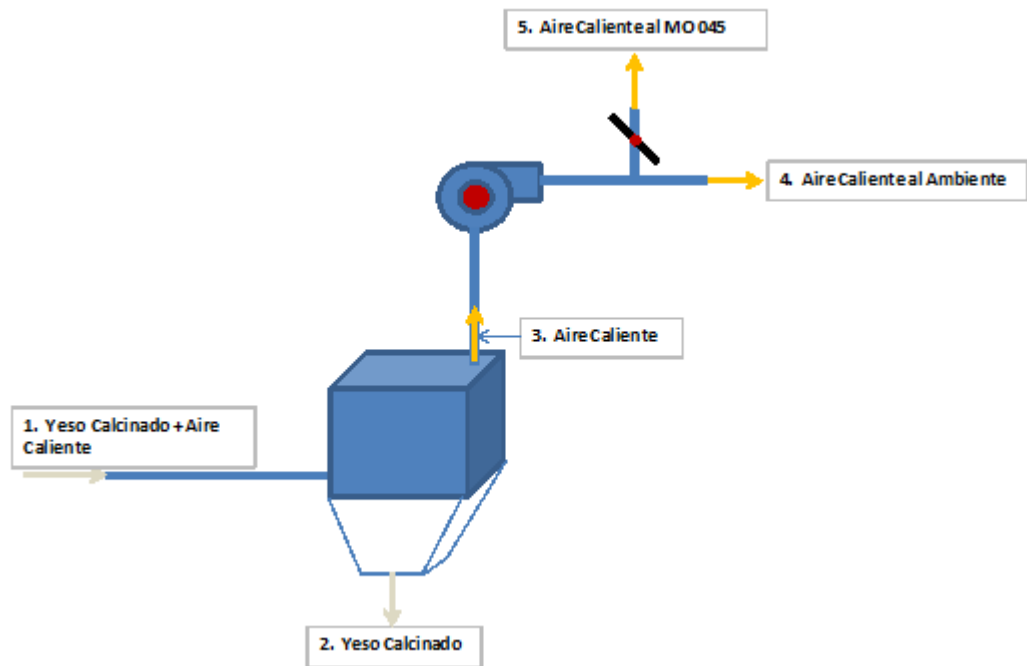


Figura 17 Esquema Ventilador 3 del Sistema de Transformación del Yeso Natural, Calcinado y Filtrado de Partículas.

7.1.3.1. Análisis de Desempeño Energético

El ventilador 3 se encuentra operando mediante la regulación de la frecuencia del motor con un variador de velocidad, la cual se encuentra fija. De acuerdo a las mediciones realizadas, este equipo desplaza un flujo de aire de alrededor de **34000 m³/hr** y la demanda de potencia promedio es de **65 kW**, a una frecuencia de **38 Hz**.

Dentro el análisis realizado se tiene que el equipo tiene una eficiencia del **68,69%**, en donde utiliza **42,4 kW** de potencia neumática para el transporte del yeso con aire inducido, la eficiencia según curva es del orden del **69%**, aproximadamente. La relación **m³ aire /Kg yeso** es equivalente a las 1,9 unidades. En la tabla 6 se presenta los resultados del análisis del desempeño de este ventilador.

Variables	Unidades	Valores
Eficiencia Ventilador	68,69%	%
Eficiencia Ventilador curva	69,00%	%
Pot neumática	kW	42,4
Densidad aire	kg/m ³	0,749
Densidad yeso	kg/m ³	1800,0
Densidad mezcla aire - yeso	kg/m ³	1,3
Flujo aire	m ³ /h	32491,0
Flujo yeso	m ³ /h	10,6
Masa aire	kg/h	24335,8
Masa yeso	kg/h	19000,0
Cabeza de presión	mca	359,6
Factor de corrección	-	1,8
Relación m³ aire/Kg yeso	-	1,7
Pot mecánica	kW	61,79
Pot eléctrica	kW	65
Eficiencia Motor	%	95%

Tabla 6 Análisis del Desempeño y Condiciones de Operación del Ventilador 3

7.1.3.2. Potenciales de Ahorro de Energía

Como medidas de mejora para la disminución de los consumos de energía eléctrica en el ventilador 3 se plantean las siguientes alternativas:

a. Ajuste de la relación m³ de aire /Kg de yeso:

Teniendo en cuenta que la rata de producción de estuco es variable según las necesidades de la planta, se tiene la posibilidad de regular el flujo de aire del ventilador 3, manteniendo la relación aire/estuco. Para una producción de 15 toneladas hora se dispondría de un flujo de aire de más de **25000 m³/h** de aire, se tendría una disminución de potencia de **33 kW**.

6.2 UNIDADES DE SERVICIO

Estos equipos tienen un consumo promedio de **124.000 kWh/mes** equivalentes a un costo de **424,3 millones de pesos** al año. Las unidades de servicio representan el **16%** del consumo promedio de la planta.

A continuación se presenta un resumen de los análisis realizados a estos equipos con los potenciales para la reducción de los consumos de energía eléctrica.

6.2.1 Unidades de Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido consta de 2 unidades atlas copco de **75 kW** cada una. Una opera con variador velocidad y otra a ciclos de carga y descarga. El sistema opera a una presión media de **110 psig**, y consta de dos tanques de respaldo de capacidad de **2,6 m³**, uno instalado en el cuarto de compresores y el otro en el área de transformación de yeso.

Los principales consumidores de aire comprimido son los filtros de manga del área de Transformación de Yeso, los cuales operan con dispositivos que funcionan a una frecuencia de disparo preestablecido, el resto de flujo se utiliza en dispositivos neumáticos de transporte y fuerza. En la figura 18, se muestra un esquema de la conexión de estos dos compresores.

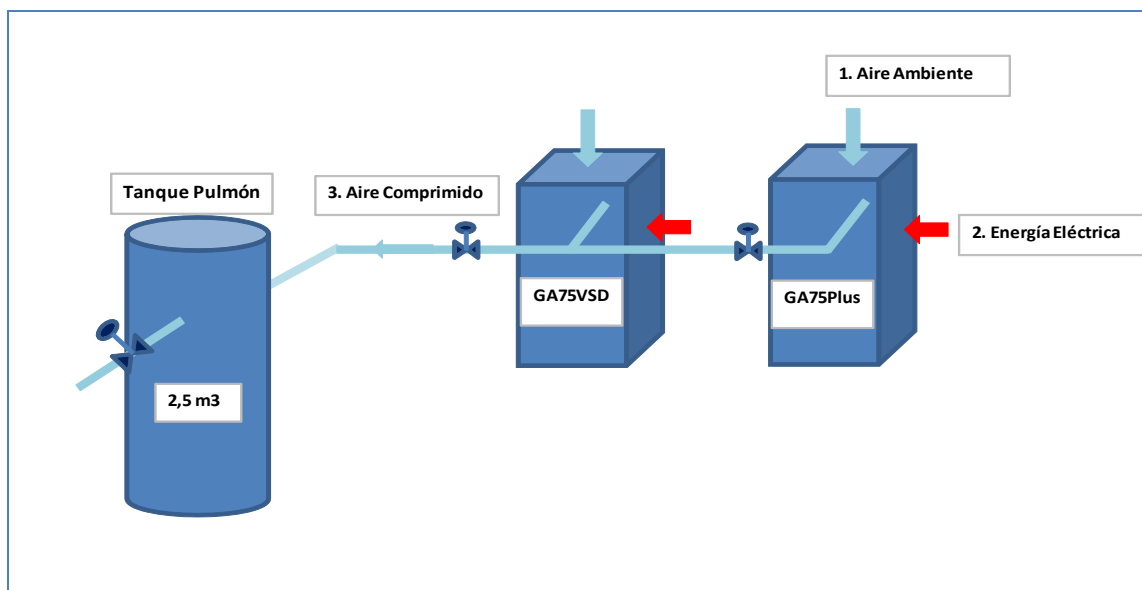


Figura 18 Esquema Sistema de Aire Comprimido de Alta Presión.

A continuación se presenta un resumen del análisis realizado a este sistema del cual se plantearon mejoras para la reducción de los consumos de energía eléctrica en dichos equipos.

7.1.1.3 Análisis de Desempeño Energético

Como parte del análisis del desempeño energético se tienen los siguientes resultados determinados:

- Los compresores de aire se encuentran operando de modo distintos de acuerdo a la presión de operación del sistema. El compresor **GA75 plus** opera a carga – vacío, en rango de presión de **113 psig – 106 psig**. También puede operar en una segunda banda de presión que se encuentra entre **100 psig – 90 psig**. Este equipo tiene ciclos de carga – vacío de **96 segundos**, siendo vacío un tiempo de **62,25 segundos** que corresponde al **65%** del tiempo de operación del compresor.
- La capacidad de los tanques de respaldo es de **5,25 m3**, siendo lo mínimo de casi **2 m3**, de acuerdo a la capacidad de los compresores.

- El compresor **GA75VSD** opera en función de la presión del sistema ajustada a un valor cercano a los **110 psig**. Este equipo regula caudal mediante la variación de la frecuencia del motor. La frecuencia promedio es de **33,10 Hz**.
- La demanda de aire comprimido del Sistema está por el orden de los **638 cfm**, esto es alrededor del **63%** de la capacidad nominal instalada. El compresor GA75VSD entrega **258,6 cfm**, entre tanto, el GA75Plus se encuentra por el orden de los **379 cfm**.
- De acuerdo a lo anterior el factor de utilización del compresor con VFD es del **51,6%**, mientras que el otro equipo es del **76,47%**.

En las figuras 19 y 20 se aprecian los comportamientos de las potencias y frecuencia de estos equipos, y la demanda de aire comprimido de cada equipo. En la tabla 7 se resumen los valores promedios, mínimos y máximos de las condiciones de operación de ambos compresores.

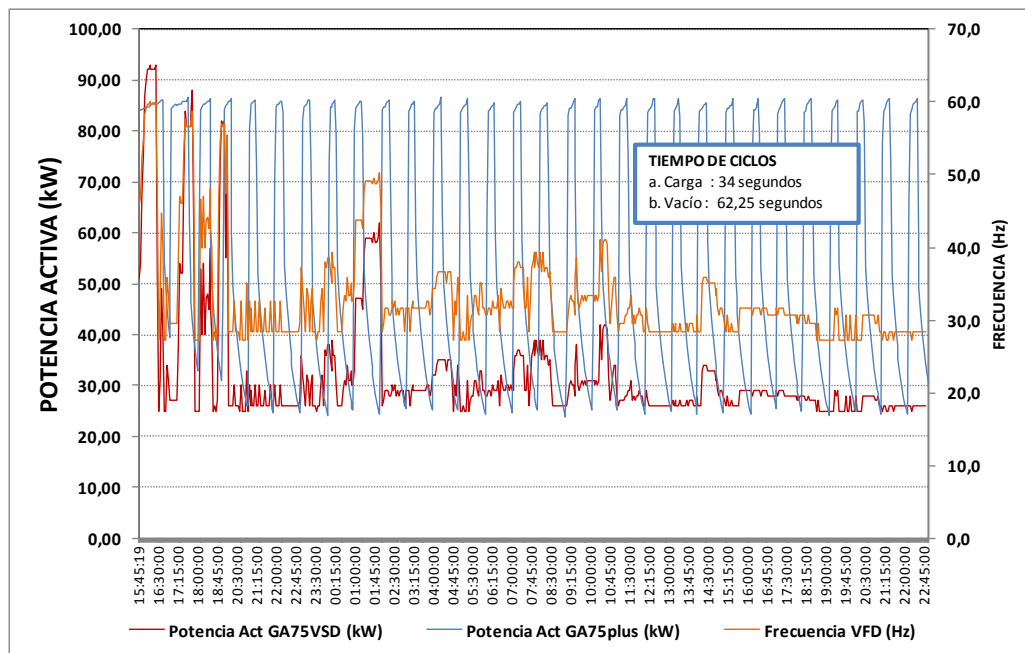


Figura 19 Comportamiento de la Demanda de Potencia y Frecuencia de los Compresor GA75VSD y GA75Plus.

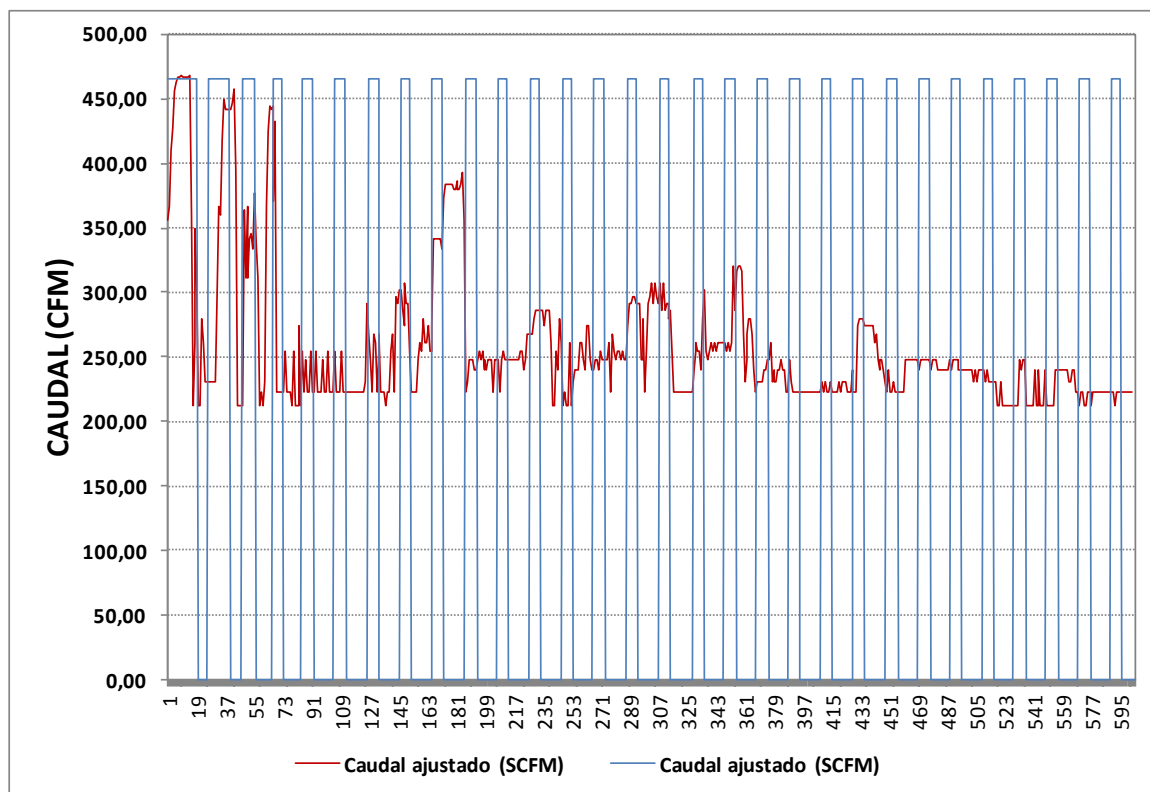


Figura 20 Comportamiento de la Demanda de Flujo de Aire de los Compresor GA75VSD y GA75Plus.

Descripción	Compresor GA75 VSD			Compresor GA75Plus	
	Potencia Act GA75VSD (kW)	Frecuencia VFD (Hz)	Caudal VSD (SCFM)	Potencia Act GA75plus (kW)	Caudal Plus (SCFM)
Promedio	32,55	33,10	258,61	74,26	379,88
Mínimo	25,00	27,22	212,61	21,94	0,00
Máximo	93,00	60,00	468,72	86,84	465,21

Tabla 7 Resumen de Valores de Condiciones de Operación Unidades de Aire Comprimido

7.1.1.4 Potenciales de Ahorro de Energía

Como medidas de mejora para la disminución de los consumos de energía eléctrica en las unidades de aire comprimido se plantean las siguientes alternativas:

a. Ajuste del régimen de operación

Se plantea la posibilidad en poner en marcha un compresor a máxima carga y dejar el otro de respaldo, es decir que el factor de utilización sea el máximo posible con el objeto de evitar paradas que generen cargas en vacío que generan sobreconsumos de energía en el equipo. El potencial de ahorro estimado oscila entre un **5% - 10%**, según las experiencias.

b. Reducción de la presión de operación del Sistema

El potencial de ahorro de energía por bajar **5 psig** la presión de operación del sistema oscila alrededor de un **2%**. Los equipos mayores consumidores en este caso, los filtros de manga pueden operar en una presión hasta de **90 psig**, y los equipos neumáticos en valores alrededor de los **85 psig** como mínimo, según experiencias. Actualmente se tiene aire a **110 psig**, según registros de los manómetros de los tanques de respaldo. De esta condición se puede pensar en la posibilidad de reducir la presión del Sistema

c. Ajuste Régimen Operación Filtros de Manga

Actualmente se tiene operando los filtros de manga con pulsos de aire comprimido dado por frecuencia. Existe otra manera de realizar la limpieza de las mangas, el cual es mediante diferencial de presión el cual oscila entre **60 mmca – 80 mmca**, el cual se debe mantener con la inyección de pulsos de aire comprimido para desplazar el material particulado de las bolsas.

6.2.2 Unidades Chiller Eléctrico

Las unidades de enfriamiento de agua para el proceso de fabricación de placas de yeso cartón demandan un consumo de energía eléctrica de casi **55.000 kWh/mes** que representan el **7,1%** del total de la planta. El proceso productivo requiere agua a una temperatura promedio de **22°C** para elaborar la pasta necesaria para la fabricación de las láminas de yeso.

La planta cuenta con dos unidades chiller eléctrico, una de **60 TR y otro de 80 TR**, sumando un total de **148** Toneladas de refrigeración. En la figura 21 se

muestra un esquema de las dos unidades de refrigeración con sus entradas y salidas: agua, aire y energía eléctrica.

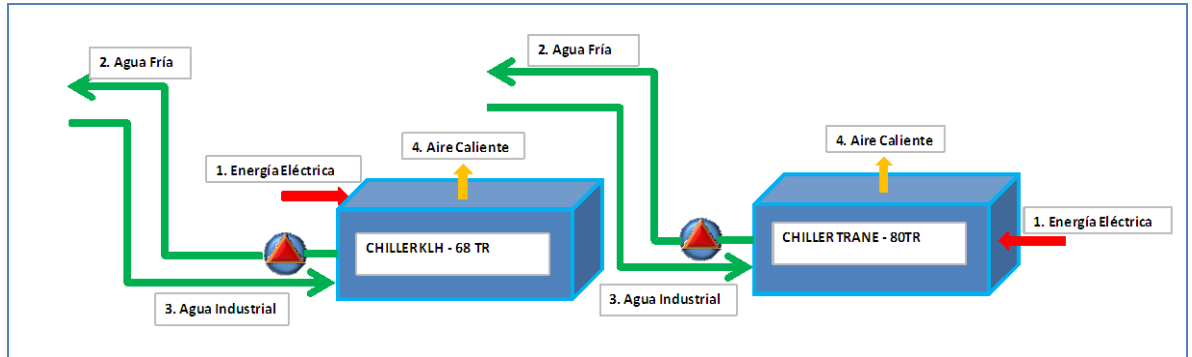


Figura 21 Esquema Sistema de Refrigeración de Agua Fría para Proceso.

A continuación se resumen los resultados obtenidos del análisis de estos equipos con miras a proponer mejoras para la reducción de los consumos con la implementación de medidas de ahorro.

7.2.2.1. Análisis de Desempeño Energético

Para cada unidad de refrigeración se realizó el análisis del ciclo de refrigeración como la cantidad de calor que disipa al agua para su enfriamiento. En la figura 22 se presenta un esquema de los componentes de las unidades de refrigeración.

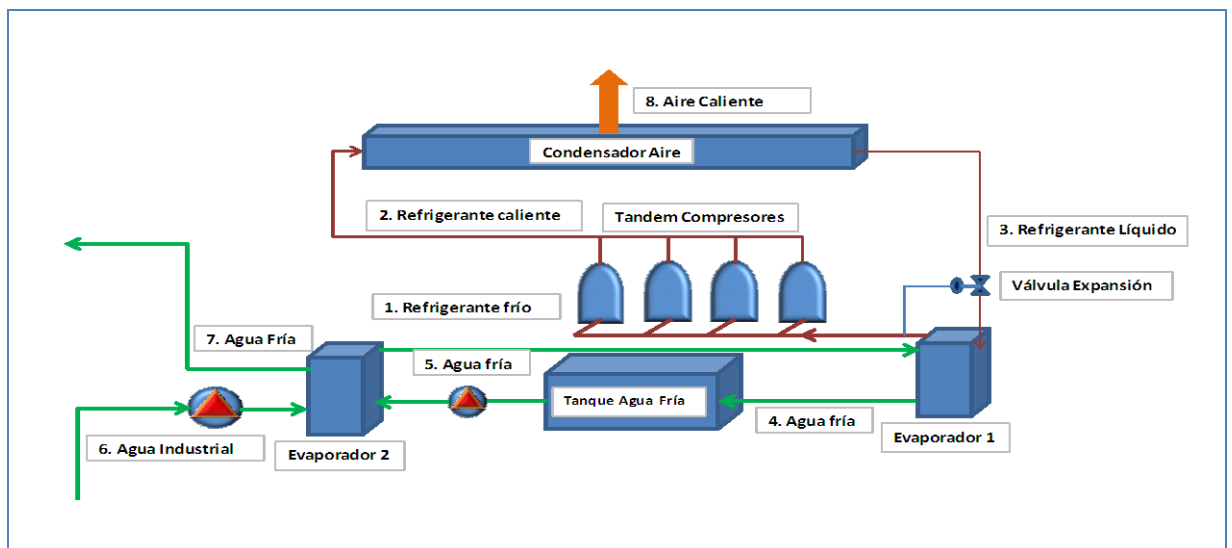


Figura 22 Esquema Unidad de Refrigeración. Equipos KLH y Trane.

Con base en las mediciones realizadas en estos equipos se determinó la eficiencia energética de cada una de ellas, los valores de los diferenciales de sobrecalentamientos, subenfriamientos y el coeficiente de desempeño COP. A continuación se presenta los resultados:

- La unidad Trane presenta un índice de consumo de **0,73 Kw/TR**, entre tanto la unidad KLH es de **0,658 Kw/TR**. Esto representa una diferencial del **9,89%**. La tabla 8 resume el cálculo del índice de consumo de cada unidad de refrigeración basado en las mediciones realizadas.

Variables	Unidades	Chiller Eléctrico KLH	Chiller Eléctrico Trane
Índice Desempeño	kW/TR	0,658	0,730
Flujo de Agua	m3/h	21	13,64
Temp. Agua Entrada	°C	30	30
Temp. Agua Salida	°C	22	18
Potencia Activa	kW	36,56	39,53
Toneladas de refrigeración	TR	55,6	54,1

Tabla 8 Cálculo del Desempeño de las Unidades de Refrigeración de Agua Fría.

- El coeficiente de desempeño de la unidad Trane es de **4,42**, mientras que la unidad KLH es de **6,83**. Lo anterior significa que la unidad KLH es más eficiente en un **35%** desde el punto de vista termodinámico. Eso se da porque dicha unidad opera con una temperatura de evaporación de **17,25°C**, siendo la de la unidad Trane de **2,73°C**.
- La temperatura de condensación del compresor KLH es de **44°C**, teniéndose un diferencial de condensación de **12°C (21,6°F)**, siendo lo adecuado **10°C (18°F)**. La unidad trane presenta una temperatura de condensación de **7,7°C (14°F)**.
- El sobrecalentamiento de la unidad Trane se encuentra **7,27°C** mientras que el KLH es de **1,75°C**. Lo recomendado es de **5,5°C**.

- El setpoint de agua fría de la unidad Trane es de **4,7°C**, el cual maneja la temperatura de agua del evaporador del sistema de refrigeración, mientras que el KLH tiene un setpoint de **21°C**, manejando el agua fría de proceso.

7.2.2.2. Potenciales de Ahorro de Energía

Como medidas de mejora para la disminución de los consumos de energía eléctrica en las unidades de refrigeración se plantean las siguientes alternativas:

a. Ajuste del régimen de operación

Se plantea la posibilidad en poner en marcha la unidad de refrigeración de mayor eficiencia a máxima carga y dejar el otro de respaldo, es decir que el factor de utilización sea el máximo posible para disminuir el consumo específico del sistema. El potencial de ahorro estimado oscila entre un **10% - 15%**, según las experiencias.

b. Ajuste de Temperatura de Condensación, Sobre calentamientos

Es necesario reducir las temperaturas de condensación del KLH realizando limpieza de los paneles evaporadores y poniendo en marcha todos los ventiladores de la condensadora, el diferencial debe estar en 10°C (18°F). Ajustar el sobre calentamiento de ambas unidades a un valor 5,5°C mediante calibración de las válvulas de expansión.

c. Seguimiento a las condiciones de operación de las unidades

Es necesario realizar seguimiento, control y monitoreo de las variables de operación de estas unidades, especialmente los diferenciales de temperatura de condensación, sobre calentamientos, diferenciales de los evaporadores para asegurar que las temperaturas de evaporación se encuentran dentro los límites

adecuados. Para esto último se tiene valores **2°C** para intercambiadores de placa.

d. Ajuste del Setpoint de agua fría

Es posible realizar un aumento del setpoint de agua fría de las unidades de enfriamiento siempre y cuando se tengan en óptimas condiciones, en cuanto a reglaje y limpieza de los condensadores y unidades de transferencia. Pasar de **4,7°C a 5,5°C** representa un potencial de ahorro de casi un **3%**.

6.3 MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS

6.3.1 Motor Molino 2

El motor eléctrico de inducción del Molino 2 de la Línea de Transformación de Yeso, responsable de la molienda del yeso como materia prima principal de las placas de yeso cartón, según el diagrama de Pareto de consumidores eléctricos representa el **12,3%** del consumo energético promedio mensual de la empresa. Este motor cae dentro de la participación de cargas importantes a incluir en un diagnóstico energético de detalle dentro del marco de un SGIE. Este motor se monitoreó durante un periodo comprendido entre el 10 de marzo de 2012 a las 17:12 horas hasta el 11 de marzo de 2012 a las 11:50 horas con intervalo de medición de 1 minuto.

7.4.4.1 Análisis del desempeño energético del motor

La tabla 9 resume el desempeño energético del motor bajo análisis.

Fecha y hora de Inicio:	10/03/2012	07:32:00 p.m.
Fecha y hora de Finalización:	11/03/2012	11:50:00 a.m.
Potencia del motor actual (HP):		350
Potencia del motor actual (kW):		261
Potencia de salida máxima medida (HP)		270,58
Potencia del motor recomendado (HP)		339,31
Potencia promedio entregada en el eje (HP)		254,48
Máximo factor de carga (%)		78,75
Factor de carga promedio(%)		73,84
Factor de carga mínimo(%)		43,63
Potencia de entrada medida promedio (kW)		199,70
Máxima eficiencia real operacional (%)		96,08
Promedio de eficiencia real operacional (%)		95,06
Potencia Reactiva Promedio demandada por el motor (kVAr)		120,71
Potencia reactiva requerida para factor de potencia de 0,92 (kVAr)		39,33
Potencia comercial nuevo motor sugerido para máxima eficiencia (HP)		350,00
Factor de Carga del nuevo motor (%)		72,71
% de veces que trabaja el motor <25% de la carga nominal		0,00
% de veces que trabaja el motor >25%<50% de la carga nominal		0,23
% de veces que trabaja el motor >50%<75% de la carga nominal		66,97
% de veces que trabaja el motor >75%<100% de la carga nominal		33,03
Variación de tensión promedio. (p.u)		0,58
Desequilibrio de tensión promedio en (p.u)		0,21

Tabla 9 Resumen del desempeño energético del motor del Molino 2

Del resumen de la tabla 9 se concluye que el motor eléctrico de inducción del Molino 2 opera a un factor de carga promedio del 43,63% y una eficiencia operacional promedio del 95%. La potencia en el eje calculada máxima es de 270 HP, entregando en promedio 254 HP. De acuerdo al análisis de eficiencia de esta unidad, teniendo en cuenta el factor de carga de este motor y su eficiencia de diseño, se sugiere evaluar al detalle la sustitución de este motor por una unidad de eficiencia Premium (96,5%) de 350 HP 460 V, lo cual arrojaría un ahorro potencial anual de **53.000 kWh/año** equivalentes a **\$ 14.675.904 anuales**, tomando la tarifa de energía eléctrica promedio de 285 \$/kWh. Basados en un valor comercial de esta unidad de 350 HP Baldor eficiencia Premium (SUPER E) con número de catalogo ECP44354T-4 y un valor comercial de **USD 45000**, basados en la TRM del 10 de Mayo de 2012, equivalen a **\$ 81.000.000**. Teniendo en cuenta el potencial de ahorro anual, el periodo simple de recuperación de esta inversión sería de **5,5 años**.

Las gráficas siguientes, resumen las tendencias de variables eléctricas más importantes, de la operación del motor bajo estudio.

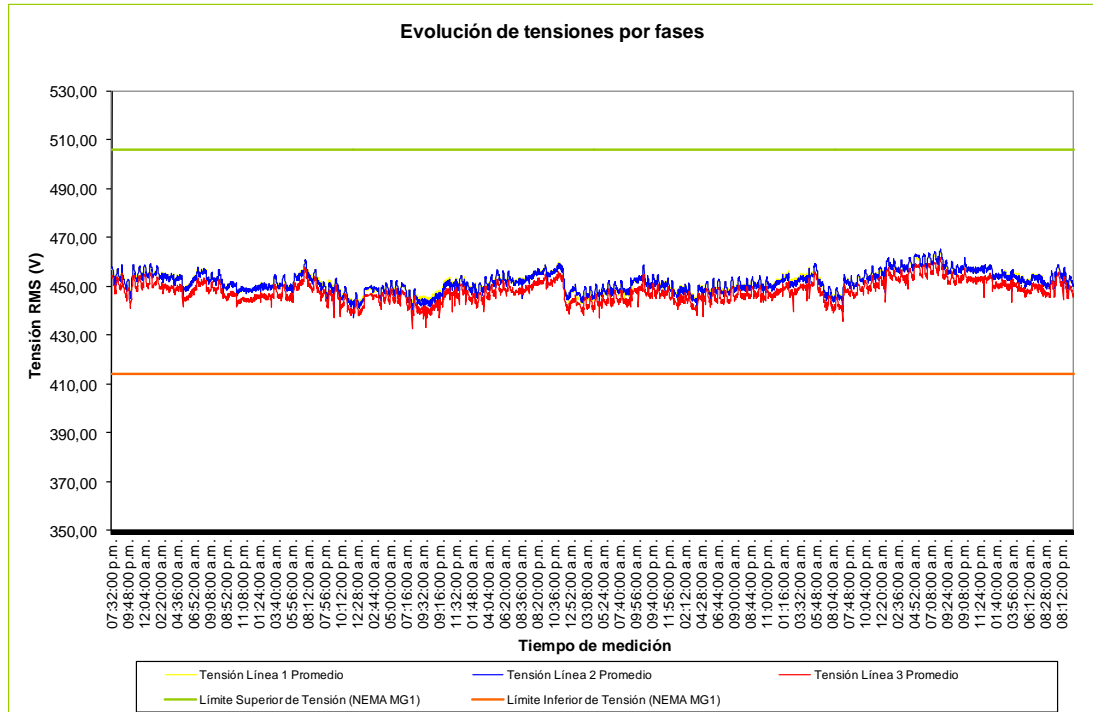


Figura 23 Tendencia de voltajes en bornes del motor Molino 2

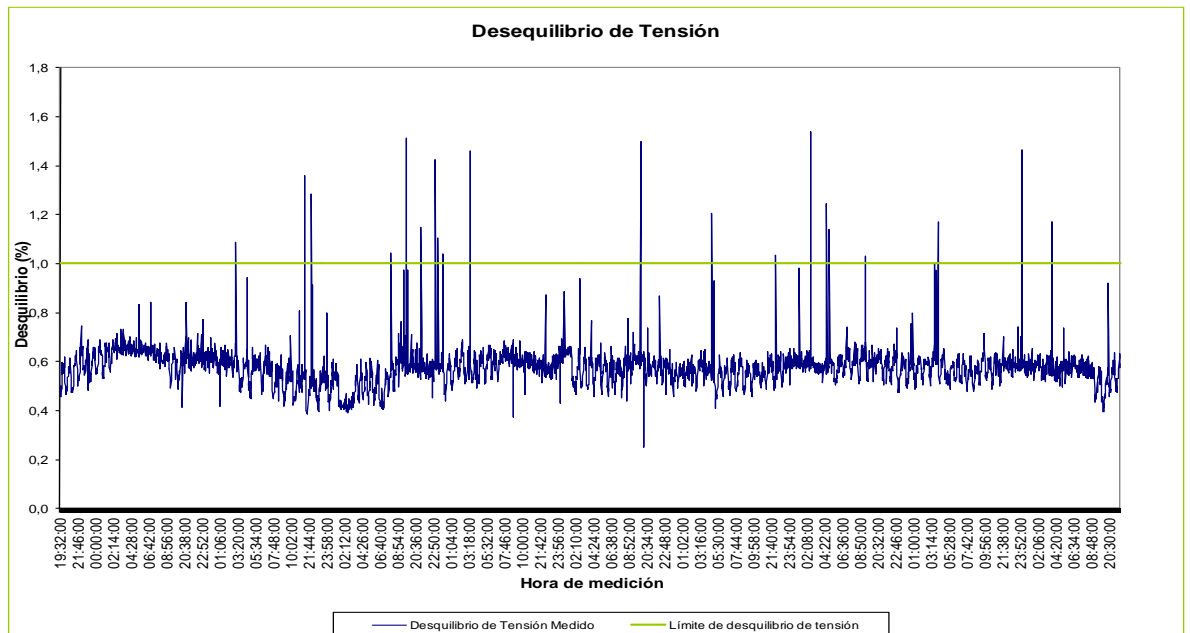


Figura 24 Tendencia de desequilibrio de voltajes del motor Molino 2

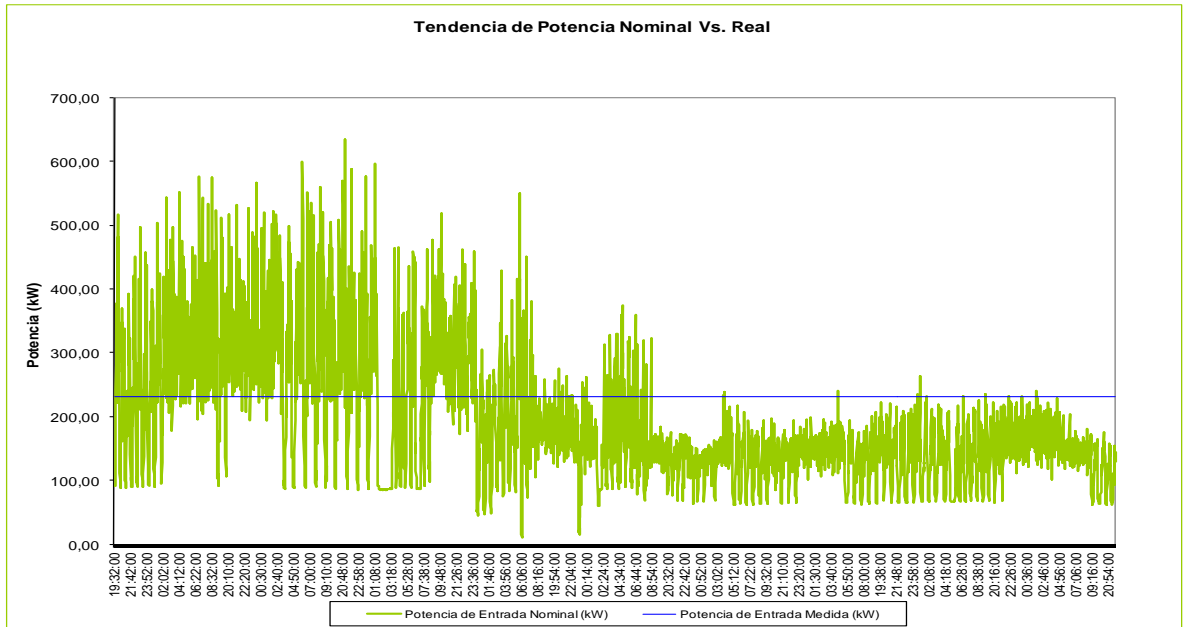


Figura 27 Tendencia de potencia activa demandada por el motor

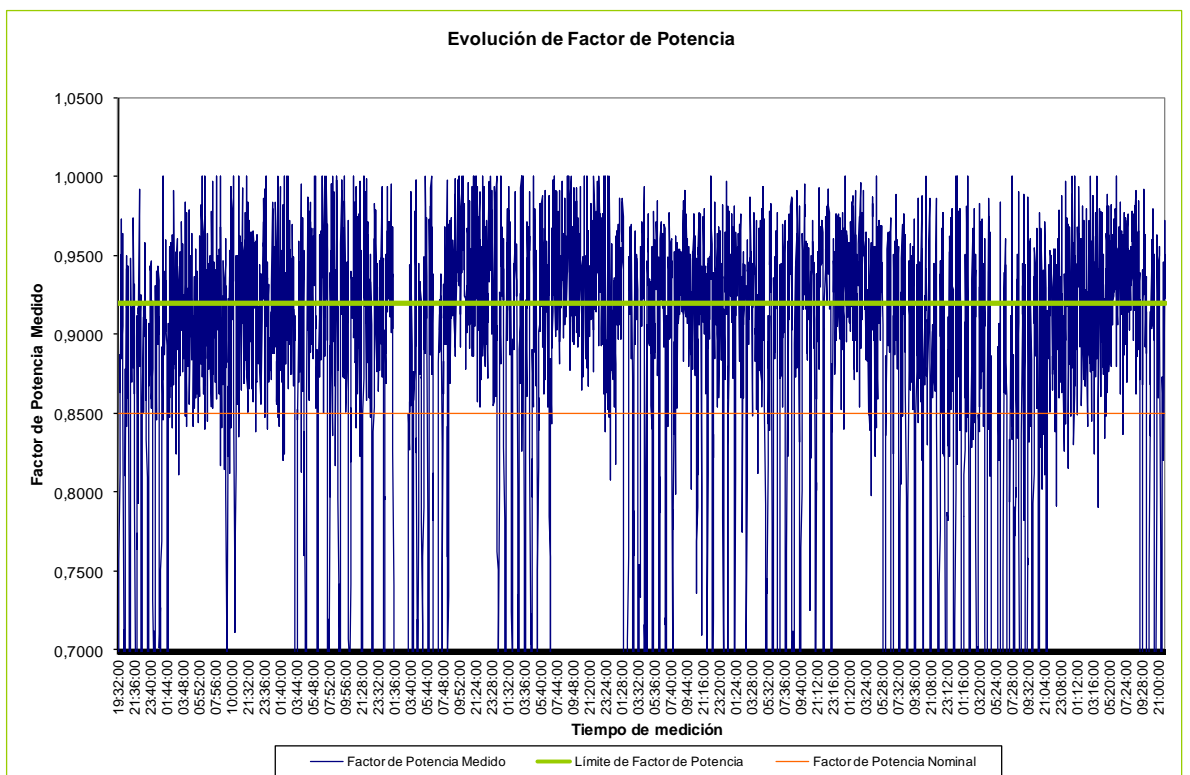


Figura 28 Tendencia del factor de potencia trifásico

De la figura 23, nótese que los voltajes en bornes del motor están dentro de lo límites sugeridos por NEMA MG1 (Estándar internacional para factor de calidad

de energía en la alimentación de motores eléctricos de inducción). De igual manera, el indicador de calidad de energía eléctrica de desequilibrio de voltaje, en promedio está por debajo del 1% sugerido, alcanzando algunos picos de hasta 1,5% pero por periodos de tiempo menores a 1 minuto, lo cual es aceptable (ver figura 24). Este promedio de desequilibrio tributa reducir la eficiencia operacional del motor hasta en un 0,7%, lo cual es aceptable. Del análisis de carga del motor, soportado en las figuras 27 y 28, es importante recalcar que este motor tiene un régimen de trabajo severo. La intermitencia en la operación de esta unidad, lo lleva a operar por encima de su capacidad nominal en intervalos regulares en algunos momentos sostenidos, sin embargo existen periodos de baja carga que compensan por temperatura el rendimiento del motor. El 66% del tiempo de medición este motor trabaja a factores de carga entre el 50% y 75%, y un 33% a factores de carga mayores del 75%. Desde el punto de vista de la calidad de la energía entregada al motor, por armónicos, el mismo estándar NEMA MG1 sugiere un valor máximo de factor armónico de voltaje (HVF) del 0,05 p.u. Para este motor este valor alcanza valores promedio del 0.025 p.u, el cual es un valor aceptable.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio, se exponen las siguientes recomendaciones:

- Estructurar un sistema de gestión energética en la planta soportado en el estándar internacional ISO 50001:2011, que permita que las medidas de control de la eficiencia energética y los indicadores de control gerencial de la eficiencia, sean llevados de forma continua en tiempo real con el proceso productivo de la planta.
- Mediante la implementación de un SGIE, la planta podrá implementar las medidas de ahorro operacionales, de mantenimiento centrado en la eficiencia y de cambios tecnológicos, citadas en el presente informe, bajo una estructura de indicadores energéticos que permitan que estas medidas no sean transitorias, sino sostenibles en el tiempo.
- Actualizar el sistema de indicadores energéticos de la empresa, de tal forma que más que indicadores de consumo, que es lo que actualmente se maneja, se controlen indicadores de eficiencia energética, que permitan tomar acciones predictivas sobre las variables de control que impactan la eficiencia cuando están se salgan de los parámetros establecidos.
- Presupuestar la energía eléctrica de acuerdo a la CME_R del proceso productivo de la planta de yeso cartón. De esta manera no se armaran presupuestos inalcanzables o incluso, el caso contrario, no se estiman presupuestos inflados.
- Montar un sistema de seguimiento del presupuesto energético con el objeto de actuar en tiempo real ante desviaciones del mismo por ineficiencias y no esperar al final del mes o del año para evaluar su cumplimiento con las pérdidas energéticas ya producidas.

- Estructurar un sistema de medición de consumos de energía eléctrica que permita armar un árbol de indicadores que nutran los indicadores globales de la empresa, de esta manera se identificarían los focos de ineficiencia que impactan sobre toda la empresa y se podrán tomar acciones correctivas puntuales.
- Incluir la recomendación del diseño e implementación de un Programa de Mantenimiento Centrado a la Eficiencia, en los principales consumidores de energía eléctrica.
- Para el caso de motores eléctricos, se sugiere implementar un plan de mantenimiento eléctrico centrado en la eficiencia, soportado en técnicas de diagnóstico predictivas ON LINE como: espectral de corrientes, flujo axial de dispersión y calidad de energía eléctrica, de forma periódica, hasta semestral.
- Poner en marcha un plan de implementación de mejoras tecnológicas en los sistemas y equipos analizados para la reducción de sus consumos de energía eléctrica, de acuerdo a las medidas identificadas en el diagnóstico, que se resumen a continuación:

Item	Área	Equipo	Mejora	Ahorro (Kwh/me ³)	Ahorro (\$/mes)	Ahorro (%)
1	Transformación de Yeso	Ventilador 1	Ajuste relación m ³ /Kg Yeso	4536	1288224	12,3%
2		Ventilador 2	Ajuste relación m ³ /Kg Yeso	3078	874152	8,5%
3		Ventilador 3	Ajuste relación m ³ /Kg Yeso	4455	12625220	10,9%
4	SUBTOTAL			12069	14787596	31,7%
5	Unidades de Servicio	Aire Comprimido	Reducción presión operación	2480	704320	2,0%
6			Ajuste de Régimen de Operación Filtros	1860	528240	1,5%
7	SUBTOTAL			4340	1232560	3,5%
8	Unidades de	Chillers	Ajuste régimen de operación	5500	1562000	10,0%
9			Ajuste temperaturas condensación y sobrecalentamientos	3850	1093000	7,0%
10			Seguimiento a condiciones de operación	1100	312400	2,0%
11			Ajuste set pont agua fría Chiller 2	1650	468600	3,0%
12	SUBTOTAL			12100	3436000	22,0%
13	TOTAL			28509	19456156	0,5718

Tabla 10 Resumen de Potenciales de Reducción de Consumos de Energía Eléctrica, por Implementación de Mejoras de Baja Inversión en Equipos Consumidores

BIBLIOGRAFIA

[1] GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA. UPME, COLCIENCIAS, Grupo de Gestión eficiente de la Universidad del Atlántico KAI; Grupo de Investigación de Energías de la Universidad Autónoma de Occidente GIEN.

[2] APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía. Ciclo de Videoconferencias. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍAS; SENA; CIDET. Septiembre 30 de 2011. Disponible en Internet en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Grupo%20de%20Participacion%20Ciudadana/AplicacionDeLaNormalISO50001.pdf>

[3] World Energy Outlook. Resumen Ejecutivo. International Energy Agency. 2010. Disponible en Internet en: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2010_es_spanish.pdf

[4] Eficiencia Energética y Competitividad de Empresas. CAMPOS, Juan Carlos, TORRES, Rafael; SANTOS, Leonardo. ISBN 959-257-019-1. Editorial UCF.80p.1998.

[5] ISO 50001:2011 Energy management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization ISBN 978-92-67-10552-9

[6] Informe de la Orden de Servicio Gyplac – Energía Eficiente E2. Caracterización Energética de la Planta de Producción Gyplac S.A. 2012

[7] Gerencia de Energía. Energy Star, ENERGY STAR, Disponible en Internet:http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index.

[8] National Productivity Council, “Cleaner Production-Energy Efficiency Manual for GERIAP,UNEP.” ISBN No: 92-807-2444-4 2001.135 pp

[9] Tecnología para la gestión energética empresarial. Campos J.C., Lora E., Meriño L. Grupo de Gestión Eficiente de la Energía. Universidad del Atlántico. Memorias I Congreso Internacional sobre Uso Racional y Eficiente de la Energía. CIUREE ISBN.958-33-7132-7. Cali, Colombia. Año 2004.

[10] EL Modelo de Gestión Energética Colombiano: Desarrollo, experiencias y resultados de Aplicación y Perspectivas futuras de Desarrollo. QUISPE, E.C.; CASTRILLÓN, M; CAMPOS J. C.; URHAN, M. Disponible en Internet en:http://www.enriquequispe.com/wp-content/uploads/2012/01/2011_Quispe_Castrillon_-MODELO-DE-GESTION-ENERGETICA-COLOMBIANO.pdf

[11] Sistema de Gestión (G.G. Rajan, “Optimizing Energy Efficiencies in Industry”. Editorial Mc Graw Hill, USA, 2003.

[12] Gestión Total Eficiente de la Energía. Campos, J.C., Revista Magazín. Año 5. No.6 Junio 2003. Promigas.

[13] An Energy Efficiency Guide for Industrial Plant Managers in Ukraine,. Advanced International Studies Unit. Disponible en Internet en: <http://www.energymanagertraining.com/Documents/energymanagerguide.pdf>

[13] TOTAL ENERGY MANAGEMENT HANDBOOK. Department of Alternative Energy Development and Efficiency; Energy Conservation Center Thailand; Committee Members for TEM Handbook Preparation And Energy Conservation Center Japan. 2005. Disponible en internet en: <http://www.eccj.or.jp/cooperation/1-1-1/01.pdf>