

Diagnóstico energético de primer nivel en la industria de fabricación de materiales para la construcción

First level energy diagnosis in the industry of manufacture of materials for the construction

HUCHIN-MISS, Mauricio†*, OVANDO-SIERRA, Juan y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita

Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ingeniería

ID 1^{er} Autor: *Mauricio, Huchin-Miss* / ORC ID: 0000-0002-5669-9098, Researcher ID Thomson: S-2354-2018, CVU CONACYT ID: 917567

ID 1^{er} Coautor: *Juan, Ovando-Sierra* / ORC ID: 0000-0003-4358-6657, Researcher ID Thomson: S-2357-2018, CVU CONACYT ID: 358434

ID 2^{do} Coautor: *Margarita, Castillo-Téllez* / ORC ID: 0000-0001-9639-1736, Researcher ID Thomson: S-2283-2018, CVU CONACYT ID: 210428

Recibido Junio 27, 2018; Aceptado Septiembre 30, 2018

Resumen

Se realizó un diagnóstico energético de primer nivel en una industria dedicada a la trituración de piedra dura para la producción de grava, polvo de piedra, gravón y granzón. El objetivo consistió en conocer los equipos empleados, consumos-usos de energía, parámetros eléctricos, así como oportunidades de eficiencia energética y ahorro económico a corto plazo. Como parte del diagnóstico, se analizó la facturación eléctrica para determinar los consumos energéticos, demandas de potencia, factor de potencia y costos asociados a energía. Asimismo, se efectuó un levantamiento de cargas de los diversos motores encontrados y mediciones de los parámetros eléctricos mediante un analizador de redes AEMC power pad 3945-B en cada subestación para monitorear las condiciones de operación. El desarrollo del diagnóstico contribuye para conocer los equipos consumidores de energía, operación y parámetros eléctricos de las subestaciones con la finalidad de proponer oportunidades de ahorro de energía, eficiencia energética y ahorros económicos a corto plazo en los costos por energía eléctrica.

Diagnósticos, Energía, Ahorros

Abstract

A first level energy diagnosis was carried out in an industry dedicated to the crushing of hard stone for the production of gravel, stone dust, granulation and gravel. The objective was to know the equipment used, consumption-energy uses, electrical parameters, as well as opportunities for energy efficiency and short-term economic savings. As part of the diagnosis, the electric bill was analyzed to determine the energy consumption, power demands, power factor and costs associated with energy. Likewise, a load survey of the various motors found in the plant and measurements of the electrical parameters were made by means of an AEMC power pad 3945-B power analyzer in each substation to monitor the operating conditions. The development of the diagnosis contributes to know the energy consuming equipment, operation and electrical parameters of the substations with the purpose of proposing opportunities of energy saving, energy efficiency and short-term economic savings in the costs for electric power.

Diagnosis, Energy, Savings

Citación: HUCHIN-MISS, Mauricio, OVANDO-SIERRA, Juan y CASTILLO-TÉLLEZ, Margarita. Diagnóstico energético de primer nivel en la industria de fabricación de materiales para la construcción. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-7: 1-7.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (mauro_ivan5@hotmail.com)

Introducción

Las industrias manufactureras clasificadas como PyMEs representan el 11% de establecimientos en la entidad de Campeche (INEGI, 2009). Del 11% se decidió realizar un diagnóstico energético de primer nivel en una industria dedicada a la trituración de piedra dura debido a: 1. los costos por facturación eléctrica que en promedio son de \$46,000 pesos mensuales con una jornada de trabajo 9 horas por día, a través de tarifa HM en horario intermedio, no laboran en las noches; 2. el aumento futuro en los costos por facturación de energía eléctrica derivado de los cambios en el esquema de cobro de energía y demanda que tuvo su entrada en vigor a partir del mes de diciembre del 2017 y 3. la apertura del mercado eléctrico mexicano hacia nuevos generadores, catalogados como “Suministrador de servicios básicos” (Redacción manufactura, 2018).

Por lo anterior, este tipo de PyME se mostró interesada en conocer sus consumos de energía, costos asociados, factor de carga, cargos por bajo de potencia (FP), eficientar sus procesos y reducir el consumo de energía (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2016), a través de un diagnóstico energético de primer nivel y que le permitiera conocer sus oportunidades de ahorro y eficiencia energética. Las instalaciones cuentan con dos plantas trituradoras. La primera de medio uso denominada “planta 1” produce grava, polvo de piedra, granzón y gravón.

La segunda denominada “planta 2”, se adquirió completamente nueva y sólo produce grava, polvo de piedra y granzón. Otras áreas en las instalaciones están dedicadas a tableros eléctricos y protecciones, así como un taller de mantenimiento. Las áreas de oficinas se encuentran apartadas y no pertenecen a la instalación eléctrica de las trituradoras.

Durante el diagnóstico se analizaron las facturas eléctricas y se instaló en cada planta, un analizador de redes modelo AEMC Power Pad 3945-B que permitió registrar los valores máximos de potencia aparente, tensión, amperaje y otros parámetros eléctricos (AEMC INSTRUMENTS, 2012) por un período de 24 horas registrando mediciones cada dos minutos para conocer las condiciones de operación de las trituradoras.

Mediante el análisis de facturas y registro de valores del analizador, se encontraron dos oportunidades de ahorro de energía relacionada con el sobredimensionamiento de la potencia de las subestaciones y las penalizaciones por bajo factor de potencia presentes en la instalación. Por lo que, se proponen dos alternativas relativas al ahorro de energía y ahorro económico. Dichas propuestas se desarrollan tomando en cuenta la información eléctrica recabada, por ese motivo, en las secciones del artículo contemplan los siguientes temas: datos generales de la instalación, donde se menciona la localización, datos eléctricos y cargas de la instalación.

La facturación eléctrica se enfoca en los datos registrados por CFE en el año 2016. En parámetros eléctricos mediante analizador de redes, se muestran las lecturas registradas por el equipo. En capacidad de subestación de acuerdo con la carga actual, se dimensiona la capacidad de la subestación. Para el apartado de banco de capacitores de acuerdo con condiciones actuales, se corrobora la baja capacidad de los capacitores instalados actualmente y se determina la capacidad requerida.

En medidas de ahorro de energía a corto plazo, se explican las pérdidas relacionadas al sobredimensionamiento y los ahorros anuales estimados. Para finalizar las secciones de conclusiones y referencias, contienen las consideraciones principales de los auditores y las diferentes fuentes bibliográficas que apoyaron para la elaboración del artículo.

Datos generales de la instalación

Las instalaciones se encuentran ubicadas, en el kilómetro 4 carretera China-Pocuyaxum, Campeche. La figura 1 y 2 muestran las plantas sobre las cuales se realizó el diagnóstico.



Figura 1 Planta 2 “nueva”

Fuente: Foto Propia



Figura 2 Planta 1 “antigua”

Fuente: Foto Propia

Como parte inicial del diagnóstico se corroboraron las características del servicio de suministro de energía eléctrica que se muestran en la tabla 1

Sistema Trifásico 3F-4H	
Tarifa	HM
Voltaje	440/254
Carga conectada	289 KW
Demanda contratada	289 KW
Potencia subestación 1	500 KVA
Potencia subestación 2	500 KVA

Tabla 1 Datos eléctricos

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se corroboró la existencia de bitácora de mantenimientos (Ynzunza, y otros, 2017) y se realizó el levantamiento de cargas en la instalación (Ovando Sierra J. , Huchin Miss, Martínez Ruiz, Castillo Tellez, & Lezama Zárraga, 2016) que abarca todos los equipos consumidores de energía. Los resultados concentrados se muestran en la tabla 2 y en el gráfico 1.

Equipos	Carga KW
Alumbrado	0.90
Aire acondicionado	1.2
Motores planta 1	357.334
Motores planta	249.91
Total	609.34

Tabla 2 Potencia instalada por equipos

Fuente: Elaboración Propia

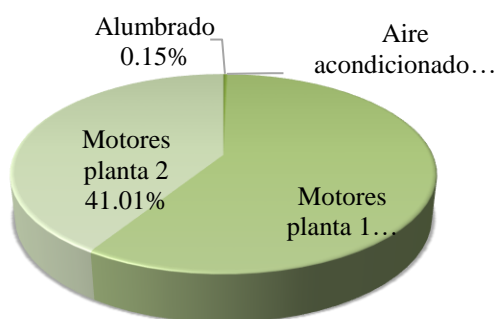


Gráfico 1 Porcentajes de cargas instaladas

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica muestra la comparación porcentual entre las diferentes tecnologías de equipos consumidores, resultando que la mayor potencia instalada se encuentra en ambas plantas trituradoras ya que la operación es mediante motores de 200, 100, 75, 25 y 15 HP en su mayoría. Mientras que el uso del aire acondicionado es ocasional y el alumbrado sólo se utiliza por las noches para iluminación de la zona por lo que dichas tecnologías fueron de relevancia para el diagnóstico.

Facturación eléctrica

La siguiente actividad consistió en analizar la facturación eléctrica, mediante datos correspondientes al año 2016, de los cuales se obtuvieron los promedios anuales, y se muestran en la tabla 3.

Mes	Factor de carga	Consumo máximo KVA	Índice de carga	Factor de potencia (FP)
Enero	26%	256	51.22%	0.7926
Febrero	20%	228	45.58%	0.8249
Marzo	22%	229	45.90%	0.8323
Abril	20%	242	48.33%	0.7986
Mayo	15%	254	50.80%	0.7835
Junio	12%	160	32.01%	0.8498
Julio	11%	215	43.01%	0.8091
Agosto	11%	249	49.89%	0.8498
Septiembre	13%	252	50.32%	0.8465
Octubre	16%	255	50.99%	0.8473
Noviembre	18%	257	51.35%	0.8063
Diciembre	20%	281	56.29%	0.7995
Promedio	17%	240	47.97%	0.8200

Tabla 3 Parámetros eléctricos por facturación

Fuente: Facturación CFE año 2016

La tabla anterior contempla datos de ambas plantas trituradoras. El valor promedio anual de potencia aparente es de 240 KVA, lo que significa un aprovechamiento del 24% de los 1000 KVA instalados.

Mediante el valor promedio anual del índice de carga se corroboró que cada subestación trabaja aproximadamente al 25% de su capacidad, lo que repercute en un factor de carga con un valor del 17% promedio anual comparándolo con el 100% de la potencia instalada de ambas subestaciones.

La tabla 3 muestra también el factor de potencia mensual y el promedio anual con un valor de 0.82. Cabe mencionar que actualmente cada planta trituradora cuenta con un banco de capacitores de los cuales se desconoce su capacidad, sin embargo, no están cumpliendo con el valor de 0.9 de factor de potencia mínimo establecido por CFE para evitar penalizaciones y cargos adicionales.

Parámetros eléctricos mediante analizador de redes

Con el propósito de corroborar los datos de la facturación eléctrica y determinar la potencia y consumo de energía en cada planta, se procedió a instalar un equipo analizador de redes power pad 3945-B por un período de 24 horas en cada planta (AEMC INSTRUMENTS, 2012).



Figura 3 Analizador de redes instalado
Fuente: Foto Propia

De los resultados del analizador se estudió el consumo de energía, la potencia activa y la potencia aparente. El consumo de energía se resume en los gráficos 2 y 3. El valor máximo de energía fue de 685 KWh en la trituradora 1 y de 522KWh en la trituradora 2 (UAC-Facultad de Ingeniería, 2017).

El horario de trabajo de estas trituradoras queda comprendido en el rango “intermedio” y tomando en cuenta el precio promedio en tarifa HM \$1.1821/KWh en dicho rango (CFE, 2017), resulta en un costo por energía de \$1,427 pesos por día estimado por ambas plantas sin considerar impuestos.

Consumo de energía trituradora Planta 1

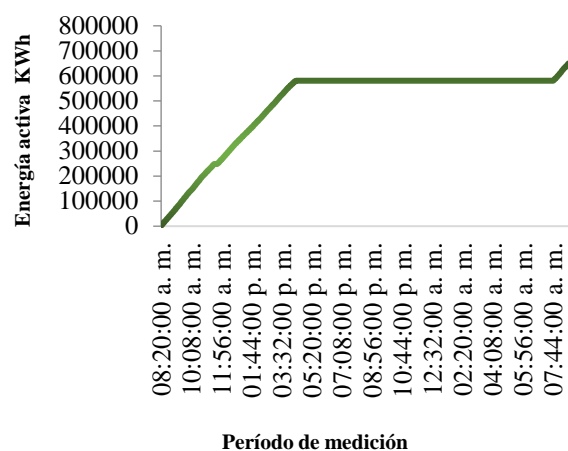


Gráfico 2 Energía activa planta 1

Fuente: Elaboración Propia

Consumo de energía Planta 2

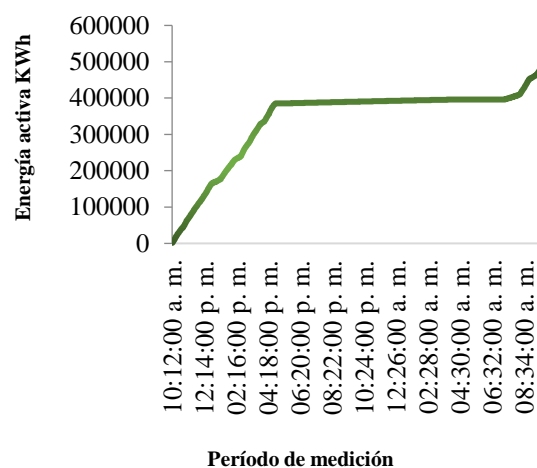


Gráfico 3 Energía activa planta 2

Fuente: Elaboración Propia

En lo correspondiente a los valores de potencia activa, los datos se resumen en la tabla 4.

Potencia Activa KW		
	Planta 1	Planta 2
Máximo	89	100
Promedio	70	58

Tabla 4 Potencia activa

Fuente: Elaboración Propia

Donde los picos de demanda de potencia alcanzan valores de 89 y 100 KW debido al arranque y paro de los motores. Los valores en la tabla 4 consideran el período de operación (8:00am-5:00pm) y en comparación con la demanda contrada sólo se aprovecha un 65%.

En lo que se refiere a la potencia aparente, los datos se muestran la tabla 5:

Potencia Aparente KVA		
	Planta 1	Planta 2
Máximo	124	114
Promedio	81	66

Tabla 5 Potencia aparente
Fuente: *Elaboración Propia*

Las mediciones efectuadas por el analizador corroboraron en primer lugar, la potencia aparente necesaria de 238 KVA y, en segundo lugar, el sobredimensionamiento de cada una de las subestaciones.

Dimensionamiento de subestación de acuerdo con la carga actual

Tomando como base el levantamiento de cargas, análisis de facturación eléctrica y mediciones del analizador, se calculó la capacidad correcta de la subestación considerando ambas plantas. Para el cálculo se toma en cuenta:

- Carga conectada en KW: se consideró un valor de 609.34 KW
- Demanda máxima media anual: 225KW
- Factor de potencia: 0.8225
- Factor de demanda: es la relación de demanda máxima y la carga total instalada: 0.3693
- Factor de diversidad: se consideró el valor de 1.

Dichos valores se obtienen de la facturación eléctrica. La capacidad de la subestación quedará determinada mediante la siguiente operación (1):

$$KVA = \frac{\text{Carga conectada} * \text{factor de demanda}}{\text{Factor de potencia} * \text{factor de diversidad}} \quad (1)$$

Sustituyendo:

$$KVA = \frac{609.34KW * 0.3693}{0.8225 * 1} = 273.56KVA$$

Y considerando un 25% de factor de crecimiento futuro, resulta un equipo de 350 KVA. Por lo tanto, se llegó a la conclusión que la operación de ambas plantas trituradoras es suficiente con una subestación de 500 KVA.

Dimensionamiento de banco de capacitores de acuerdo con condiciones actuales

Con respecto al bajo factor de potencia de 0.82, se dimensionó un banco de capacitores que evite las penalizaciones mediante el aumento a 0.95 del valor de factor de potencia, se obtengan ahorros de hasta \$29,000 pesos anuales así como bonificaciones que amorticen de manera rápida la compra del banco. El cálculo del banco (Sánchez Villanueva, 2018) se muestra en la operación (2):

$$KVAR = KW(\tan \phi_{original} - \tan \phi_{deseado}) \quad (2)$$

Sustituyendo:

$$KVAR = 190(\tan 48.7 - \tan 18)$$

$$KVAR = 154$$

Por lo que con un banco de 155 KVAR se obtendrá un FP de 0.95.

Pérdidas de energía por la operación de subestación sobredimensionada

Las pérdidas de energía relacionadas al sobredimensionamiento de las subestaciones se pueden evitar al emplear una de las dos subestaciones para respaldo en caso de mantenimiento o falla, mientras que la otra opere de forma continua. Dichas pérdidas están relacionadas a:

- Pérdidas de vacío
- Pérdidas de carga

Considerando que no se requiere la operación de una subestación, se determinaron las pérdidas de energía y los costos asociados tomando en cuenta los datos del transformador:

- Capacidad: 500 KVA
- Voltaje en media tensión: 13,200 V
- Voltaje en baja tensión: 440 V
- KW máximo medidos: 100 KW
- KVA máximos medidos: 124 KVA
- Índice de carga del transformador: 25%

Con base en la tabla 2 de la NOM-002-SEDE-2010 (Secretaría de Energía, 2010), se determinan las pérdidas de vacío y carga, resultando en un valor de:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas de vacío} &= 1,330 \text{ W} \\ \text{Pérdidas de carga} &= 4,231 \text{ W} \end{aligned}$$

Sin embargo, tomando en cuenta el índice de carga:

$$\text{Pérdidas de carga ajustada} = 264 \text{ W}$$

Por lo que, las pérdidas totales son de 1,594 W y considerando las horas de operación anuales, 2,448 h/año:

$$\text{Pérdidas de energía} = 3,902 \text{ KWh/año}$$

Para estimar los costos, se tomó en cuenta el rango “intermedio” de la tarifa HM con precios del 2017 que es la que se encontraba vigente al momento de realizar el diagnóstico. El precio promedio en dicho rango como se mencionó anteriormente es de \$1.1821/KWh, por lo tanto:

$$\text{ahorros estimados} = 3902 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} * \frac{\$1.1821}{\text{KWh}}$$

$$\text{ahorros estimados} = \$4,612.67/\text{año}$$

Los cálculos anteriores, tomaron valores de la planta 1. Para el caso de la planta 2 los ahorros estimados serían de = \$4, 496.94/año

Conclusiones

Mediante el diagnóstico se determinó el uso y consumo de energía en una planta trituradora así como la operación de cargas con mayor demanda de energía. El análisis de facturación permitió conocer los gastos por energía y demanda, las penalizaciones por bajo factor de potencia y el bajo factor de carga presente en la instalación, cuyo valor máximo fue del 26%, debido al sobredimensionamiento de ambas subestaciones, cada una con 500 KVA de potencia de manera que solo se aprovecha 260 KVA de los 1000 KVA instalados. Con respecto a los ahorros al implementar la propuesta, en lo referente a la capacidad de la subestación, serían de \$4,600 por año y es viable usar una de las subestaciones para labores de mantenimiento y de esa forma no detener la producción.

Aunque actualmente cada planta trituradora cuenta con un banco de capacitores, la capacidad no es suficiente ya que el valor promedio de factor de potencia es de 82% anual y repercute en penalizaciones y gastos extra anuales por \$29,000 pesos. Durante el diagnóstico no se proporcionó información sobre la capacidad de dichos bancos, por lo que no fue posible realizar un análisis comparativo a mayor detalle entre los actuales bancos y los propuestos.

En cuanto a las oportunidades de ahorro, se estimó que usar solo una subestación reduciría el consumo de energía en un 1.8%. Mientras que la medida de implementar bancos de capacitores repercute en un ahorro anual del costo total de facturación del 5.24%.

Actualmente, se plantea la posibilidad de realizar un diagnóstico de nivel 2 que permita una mayor participación por parte de la empresa y mayor número de mediciones, principalmente en los motores con potencias de en el rango de 15 a 200 HP, de esa forma será posible aumentar el porcentaje de ahorro y mejorar las propuestas de eficiencia energética.

Referencias

AEMC INSTRUMENTS. (08 de Agosto de 2012). User Manual. USA.

CFE. (Octubre de 2017). *Consulta tu tarifa comisión federal de electricidad*. Obtenido de https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=HM&Anio=2018&mes=6

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (12 de Julio de 2016). *CONUEE*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/introduccion-a-la-eficiencia-energetica-y-sistemas-de-gestion-de-energia-en-pymes-de-mexico-pequenas-y-medianas-empresas?state=published>

Fernández, T., Miranda, F., & Rocha, E. (2016). Estrategias de mantenimiento. *Revista aplicaciones de la ingeniería*, 9.

INEGI. (2009). *Industrias manufactureras*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/parque/manufacturas.html#tema4>

INEGI. (2014). *cuentame inegi*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/secundario/manufacturera/default.aspx?tema=E>

Ovando Sierra, J. C., & Huchin Miss, M. I. (2016). *Auditoría energética industrial*. Campeche.

Ovando Sierra, J., Huchin Miss, M., Martínez Ruiz, M., Castillo Tellez, M., & Lezama Zárraga, F. (2016). Auditoría y gestión energética aplicada en la industria maderera. *Predictiva 21*, 114.

Redacción manufactura. (06 de Abril de 2018). *Manufactura*. Obtenido de <http://www.manufactura.mx/energia/2018/04/06/tu-recibo-de-electricidad-tendra-cambios-en-su-formato>

Sánchez Villanueva, R. (Marzo de 2018). Principios de calidad de la energía. México, México.

Secretaría de Energía. (Julio de 2010). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4577/sener/sener.htm>

SEMARNAT. (05 de Mayo de 2012). Manual de incremento de eficiencia física, hidráulica y energética en sistemas de agua potable. México.

Sifuentes, D., Martínez, E., & Berumen, G. (2016). Diseño e implementación de metodología para la elaboración de diagnósticos energéticos. *Revista de aplicaciones de la ingeniería*, 8.

UAC-Facultad de Ingeniería. (2017). *Diagnóstico energético en terramar 2000 S.A. de C.V.* San Francisco de Campeche.

Ynzunza, C., Izar, J., Larios, M., Aguilar, F., Bocarando, J., & Acosta, Y. (2017). Tendencias de la gestión de los activos y el mantenimiento predictivo en la industria 4.0: Potencialidades y beneficios. *Revista de aplicaciones de la ingeniería*, 14.