



**Dirección de Investigación**  
Universidad de Cuenca - (Avenida 12 de Abril - Campus Central)  
Teléfono: (07) 405-1051  
E-mail: [administracion.diuc@ucuenca.edu.ec](mailto:administracion.diuc@ucuenca.edu.ec)

**Centro de Estudios Ambientales**  
Universidad de Cuenca - Campus Balzain  
Teléfono: (07) 403-3260  
Email: [cea@ucuenca.edu.ec](mailto:cea@ucuenca.edu.ec)



# EFICIENCIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

## para la Industria de Alimentos



  
**Dirección de Investigación**  
Universidad de Cuenca

  
**Estudios  
Ambientales**



## Guía Práctica

# Presentación

**L**a presente Guía Práctica ha sido elaborada en el marco del Proyecto DIUC "Aplicación de Programas de Eficiencia Energética Eléctrica en Empresas de Alimentos de la Ciudad de Cuenca 2011-2012", el cual tuvo intervención en varias empresas del Cantón, con resultados favorables.

Los autores desean expresar su agradecimiento a las empresas participantes y esperan que el presente trabajo sea de utilidad para el sector industrial alimentario del país, así como para otros rubros productivos.

**Los Autores.**



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



© DIUC – UC, Cuenca Ecuador.  
ISBN: 978-9942-13-369-4

**Autores:**  
Ing. José Peña Jaramillo e  
Ing. Galo Carrillo Rojas

Dirección de Investigación  
Universidad de Cuenca (DIUC) y  
Centro de Estudios Ambientales  
Universidad de Cuenca (CEA)

[www.ucuenca.edu.ec](http://www.ucuenca.edu.ec)

Emails:  
[jpcenerin@gmail.com](mailto:jpcenerin@gmail.com)  
[galo.carrillo@ucuenca.edu.ec](mailto:galo.carrillo@ucuenca.edu.ec)

NO ESTA PERMITIDA LA IMPRESIÓN LA REPRODUCCION  
PARCIAL O TOTAL DE ESTA PUBLICACION SIN LA  
AUTORIZACION ESCRITA PREVIA DE LA DIRECCION DE  
INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA.

PRIMERA EDICIÓN Tiraje: 2500 ejemplares  
Impreso en Cuenca.  
AÑO 2013



# Contenido

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Introducción</b>                                     | <b>6</b>  |
| 1.1       | Frase clave   | 6         |
| 1.2       | Propósito de la Guía                                    | 7         |
| 1.3       | Estructura de la Guía                                   | 8         |
| 1.4       | ¿Qué es la eficiencia energética en la industria?       | 8         |
| 1.5       | ¿Qué es un sistema de gestión de energía normalizado?   | 9         |
| 1.6       | Fuentes de información                                  | 10        |
| <b>2.</b> | <b>Motores Eléctricos</b>                               | <b>10</b> |
| 2.1       | Generalidades   | 10        |
| 2.2       | Pérdidas en un motor eléctrico                          | 11        |
| 2.3       | Aspectos que inciden en la eficiencia de los motores    | 12        |
| 2.3.1     | Calidad de la potencia eléctrica                        | 13        |
| a.        | Mantenimiento de los niveles de tensión                 | 13        |
| b.        | Mantener un alto Factor de potencia                     | 14        |
| c.        | Desequilibrio en la tensión                             | 14        |
| d.        | Distorsión Armónica                                     | 15        |
| 2.3.2     | Selección apropiada del motor                           | 17        |
| 2.3.3     | Condiciones Ambientales                                 | 17        |
|           | Temperatura y altitud                                   | 17        |
| 2.3.4     | Prácticas de Mantenimiento utilizadas                   | 19        |
| 2.4       | Opciones de ahorro energético en motores eléctricos     | 19        |
| 2.4.1     | Reemplazo del motor antes que este falle                | 19        |
| 2.4.2     | Adecúe las velocidades de operación del motor           | 21        |
| 2.4.3     | Elija el tamaño adecuado de motor                       | 21        |
| <b>3.</b> | <b>Sistemas de Bombeo</b>                               | <b>22</b> |
| 3.1       | Algunos conceptos básicos sobre bombas                  | 22        |
| 3.1.1     | Carga de bombeo   | 23        |
| 3.1.2     | Curvas características de las bombas                    | 24        |
| 3.1.3     | Ejemplo de aplicación                                   | 25        |
| 3.2       | Factores que afectan el consumo eléctrico               | 26        |
| 3.2.1     | Leyes de Afinidad y velocidad específica de las bombas. | 26        |
| 3.2.2     | El tipo de control usado en bombas centrífugas          | 27        |
| 3.2.3     | Curva de duración del Flujo                             | 28        |
| 3.3       | Oportunidades de ahorro en sistemas de bombeo           | 28        |
| 3.3.1     | Buena selección de la bomba y del punto de operación    | 28        |
| 3.3.2     | Control del flujo variando la velocidad                 | 29        |
| 3.3.3     | Bombas en paralelo para demanda variable                | 30        |
| 3.3.4     | Flujo o caudal que se desperdicia                       | 30        |
| <b>4.</b> | <b>Sistemas de compresión de Aire</b>                   | <b>31</b> |
| 4.1       | Algunos conceptos básicos                               | 32        |
| 4.1.1     | Capacidad del compresor                                 | 32        |
| 4.1.2     | Calidad del aire comprimido                             | 33        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 4.1.3      | Eficiencia del sistema de compresión   | 33        |
| 4.2        | Áreas de oportunidad para ahorro energético  | 34        |
| 4.2.1      | Reducción de la presión de suministro  | 34        |
| 4.2.2      | Relación demanda – capacidad de entrega  | 34        |
| 4.2.3      | Variación de la velocidad del compresor  | 35        |
| 4.2.4      | Buen diseño y operación del sistema de distribución  | 35        |
| 4.2.5      | Ponga atención a la temperatura del aire de admisión   | 36        |
| <b>5.</b>  | <b>Sistemas de iluminación</b>   | <b>37</b> |
| 5.1.1      | Oportunidades de ahorro energético   | 37        |
| <b>6.</b>  | <b>Analice su planilla eléctrica</b>   | <b>40</b> |
| <b>7.</b>  | <b>Sistemas de gestión de energía normalizados</b>   | <b>41</b> |
| 7.1        | Primeros pasos   | 41        |
| 7.1.1      | Autoevaluación energética  | 41        |
| 7.1.2      | Compromiso real de la alta dirección   | 42        |
| 7.1.2.1    | Elabore un estudio de caso   | 42        |
| 7.1.3      | Determinación de alcance y límites   | 43        |
| 7.1.4      | Designación del representante de la dirección  | 43        |
| 7.1.4.1    | Roles responsabilidad y autoridad  | 44        |
| 7.1.5      | Establecimiento del grupo de energía   | 44        |
| 7.1.6      | Definición de la política energética   | 44        |
| 7.1.7      | Generando la estructura para construir el SGE  | 45        |
| 7.1.8      | Creando conciencia organizacional  | 45        |
| 7.2        | Rol en la Comunicación, documentos y registros   | 45        |
| 7.2.1      | Control de documentos  | 46        |
| 7.2.2      | Control de registros   | 46        |
| 7.3        | Planeación/ plasmando el compromiso de la dirección y política energética en objetivos, metas y planes de acción | 47        |
| 7.3.1      | Adquisición y análisis de la información.  | 47        |
| 7.3.2      | Determinación de los usos significativos de energía,   | 48        |
| 7.3.3      | Establecimiento de línea base e indicadores de desempeño,  | 48        |
| 7.3.4      | Identificación de requisitos legales y otros requerimientos,   | 48        |
| 7.3.5      | Identificación de oportunidades de mejora o ideas,   | 49        |
| 7.3.6      | Identificando al personal que tiene o puede tener impacto significativo en los USE's,                            | 49        |
| 7.3.7      | Establecimiento de objetivos y metas,  | 49        |
| 7.3.8      | Desarrollo de planes de acción,  | 49        |
| 7.4        | Operación del día a día / control operacional  | 50        |
| 7.4.1      | Control Operacional  | 50        |
| 7.4.2      | Asegurando la competencia y conciencia del personal  | 50        |
| 7.4.3      | Implementación de los planes de acción   | 51        |
| 7.4.4      | Diseño   | 51        |
| 7.4.5      | Defina especificaciones de compra para servicios y bienes  | 51        |
| 7.5        | Determine si el sistema está funcionando   | 51        |
| 7.6        | Procedimiento de mejora continua   | 52        |
| <b>8.</b>  | <b>Aplicación de la Gestión Energética a los motores eléctricos</b>  | <b>52</b> |
| 8.1        | Gestión de la Eficiencia   | 52        |
| 8.2        | Gestión de la productividad  | 53        |
| 8.3        | Gestión del Mantenimiento  | 53        |
| <b>9.</b>  | <b>Fuentes de información bibliográfica</b>  | <b>54</b> |
| <b>10.</b> | <b>ANEXOS</b>  | <b>55</b> |

# 1. Introducción

**L**a energía, al igual que los materiales usados en los procesos de transformación, es un recurso controlable, por lo tanto, al usarse de manera eficiente contribuye a mejorar la rentabilidad de las actividades al reducir sus costos.

Usar la energía eficientemente significa consumir menos energía para los mismos beneficios en términos de cantidad y calidad. En el ámbito industrial significará mantener los niveles de producción y calidad del producto con una menor facturación energética.

La Eficiencia Energética, EE, ha mostrado ser a lo largo de los años, una de las mejores alternativas con las que puede contar los administradores y técnicos en su afán de reducir los costos de producción, incrementar la competitividad de los productos o servicios y reducir el impacto ambiental: reducción de emisiones y del daño ambiental; es decir, reducir el vínculo entre crecimiento económico y consumo de energía con la consecuente degradación ambiental. Por otro lado, la EE está al alcance de todas las organizaciones sin importar su tamaño u orientación.

## 1.1 Frase clave

**S**i la EE permite alcanzar objetivos fundamentales que busca toda gerencia de cualquier organización, la pregunta lógica que resulta es, porqué las empresas aún no se alinean y se comprometen con ella.

No hay empresa que no desee mejorar su rentabilidad con la implementación de acciones de bajo o ningún costo.

La alta gerencia desconoce que hay una serie de acciones de orden organizacio-

nal y comportamental que se pueden implementar sin que las mismas signifiquen egresos económicos para obtener réditos financieros atractivos.

***“Los costos energéticos pueden ser reducidos significativamente con medidas que no siempre demandan altas inversiones”***

Si bien la tecnología es una de las alternativas para ser más eficientes y de hecho se hará referencia en esta guía práctica a las nuevas tendencias, los ob-

jetivos de reducir costos se fundamentan también en como los recursos humanos y energéticos son administrados por la organización. Mejores prácticas operativas y un uso apropiado de las tecnologías disponibles son objetivos que alientan y motivan incluso a los países más desarrollados.

***“Esto es posible adoptando y manteniendo una voluntad de cambio para mejorar, a todo nivel de la organiza-***

***ción, empezando indiscutiblemente por la alta dirección”.***

Lo importante y de valor para la empresa es que se encuentre utilizando la energía en los niveles mínimos requeridos para desarrollar sus operaciones en forma rentable, segura, confiable y al mismo tiempo que estas cumplan con los estándares de calidad exigidos por sus clientes internos y externos.

## 1.2 Propósito de la Guía

**E**l propósito de esta Guía es ayudar a las empresas de alimentos, particularmente del sector de la pequeña y mediana empresa (PyMEs), a mejorar su desempeño energético eléctrico, reduciendo sus consumos energéticos y por ende su facturación. Esto es factible con la adopción de algunas recomendaciones de orden técnico, particularizadas en áreas y situaciones comunes que la metodología aquí mostrada se acoge a estándares nacionales e internacionales, así como se fundamenta en los resultados y experiencias obtenidas en el Proyecto DIUC de la Universidad de Cuenca denominado “Aplicación de Programas de Eficiencia Energética Eléctrica en Empresas de Alimentos de la Ciudad de Cuenca 2011 – 2012”.

Estas áreas de interés tienen que ver con:

- Motores eléctricos
  - Calidad de potencia
  - Dimensionamiento

- Variadores de velocidad
- Bombas y Compresores; y,
- Sistemas de iluminación.
- Análisis de la planilla eléctrica

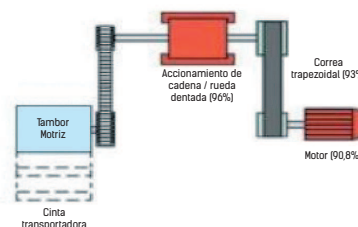


Figura 1. Accionamientos, OLADE 2013

Adicionalmente y en forma breve, esta Guía busca orientar a las empresas en la adopción de un enfoque sistemático para todas sus iniciativas relacionadas con la administración de la Energía, es decir, ayudar en la implementación de un sistema de gestión normalizado de energía, compatible con la norma ISO 50001, a fin de que las decisiones en EE sean sostenidas, perdurables y se sustenten en el ciclo de mejora continua: planificar, hacer, verificar y actuar.



## 1.3 Estructura de la Guía

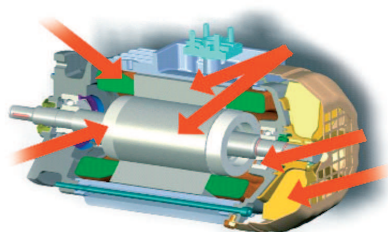


Figura 2. Motor de inducción, taller ONUDI 2013

La Guía se estructura para mostrar a las empresas, el cómo se puede identificar, valorar y dar tratamiento a problemas de ineficiencia eléctrica asociados a temas

de calidad de energía, motores eléctricos, bajo factor de potencia, variación de velocidad y en sistemas de iluminación.

En cada caso particular se mostrarán las tendencias actuales para mejorar el desempeño energético. Por otro lado, y en referencia a la Norma ISO 50001, la Guía, mostrará a las organizaciones, en forma corta y resumida, la manera cómo puede diseñar, implementar y operar un sistema de gestión de energía.

## 1.4 ¿Qué es la eficiencia energética en la industria?

La Eficiencia Energética, EE, es reducir el consumo energético primario para obtener los mismos servicios y niveles de producción, sin afectar los índices de calidad y con el menor impacto ambiental posible.

Los servicios de aire comprimido, ventilación, aire acondicionado, iluminación, energía mecánica u otros pueden ser alcanzados en una industria optimizando el consumo de energía eléctrica y por ende con una reducción en el pago de la planilla.



Figura 3. Ahorro de energía

Ineficiencias propias de los procesos físicos que envuelven a la conversión de energía y sus tecnologías, pueden ser analizadas y optimizadas aplicando mejores prácticas operativas, de uso y de organización del trabajo. Todo esto, bajo el enfoque de EE.

La misma presencia de cargas inductivas, de control electrónico y otras de tipo no lineal, en la red eléctrica interna, distorsionan las señales, reducen la eficien-

cia de equipos, aumentan el consumo de energía y afectan a su vida útil.

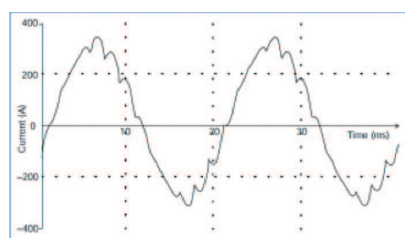


Figura 4. Variaciones en la tensión, taller ONUDI 2013

## 1.5 ¿Qué es un sistema de gestión de energía normalizado?

Los sistemas de gestión de energía, SGE, no son nuevos a nivel mundial y han mostrados ser la herramienta clave en el sostenimiento de las acciones que se emprenden en EE, al permitir que el personal clave se apropie de conocimientos y herramientas necesarias para la aplicación de un proceso continuo de mejora basado en metas renovables, actuando y verificando aquellas variables fundamentales de los procesos que alteran el uso y consumo energético.

Hacer **Gestión Energética significa tener control** sobre las acciones de orden técnico, de comportamiento y de organización que inciden económicamente en el uso y consumo de la energía al interior de la empresa. Significa dar atención sistemática y diaria con el objetivo de mejorar continuamente su desempeño energético y mantener estas mejoras en el tiempo. El SGE no es en sí un objetivo,

sino los resultados que se logran con la aplicación del mismo.

Esta herramienta asegura que la empresa pasará continuamente a través del ciclo de revisión y evaluación de sus objetivos, planificar e implementar acciones, evaluar sus resultados, revisar avances, actualizar política y objetivos. El compromiso real de la alta dirección de la empresa es clave y fundamental en la construcción, implementación y mantenimiento del SGE.

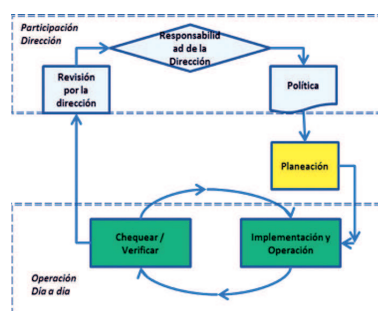


Figura 5 Mejora continua

## 1.6 Fuentes de información

**L**a Guía presenta una recopilación de datos e información técnica disponible en fuentes convencionales de consulta, en talleres magistrales presentados en Ecuador por expertos internacionales de

ONU (Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) en el 2013 y las que los autores han recopilado a lo largo de su ejercicio profesional en el ámbito de la EE.

# 2. Motores Eléctricos

## 2.1 Generalidades

**A**nivel mundial y por usos finales, los motores son responsables de la demanda del 40% de la electricidad. En la industria representan aprox. el 70% del consumo eléctrico, en aplicaciones como bombeo, ventilación, compresores, cintas transportadoras, sistema de refrigeración y otros usos. Son los equipos de mayor presencia en todas las empresas. La eficiencia de los sistemas motrices depende de varios factores entre ellos:

La eficiencia propia del motor, el control de la velocidad y del par del motor, el dimensionamiento correcto, la calidad del suministro eléctrico, las pérdidas por distribución, el tipo de transmisión mecánica, las prácticas de mantenimiento, la eficiencia final del uso final (bomba, ventilador, compresor, otros).

Por ser los motores de inducción de mayor uso a nivel mundial (más del 90% en aplicaciones industriales y con amplia cobertura de potencia), en esta guía nos referiremos a los motores de inducción de jaula de ardilla. Véase figura 6.

Tienen ventajas como su eficiencia y alta fiabilidad, bajo costo, reducido mantenimiento y fáciles de controlar con el uso de variadores de velocidad.

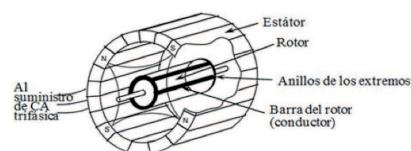


Figura 6 Corte de motor de inducción.  
Taller ONUDI 2013

## 2.2 Pérdidas en un motor eléctrico

**P**érdidas eléctricas, se expresan en forma de calor y obedecen a la resistencia eléctrica que presenta a la corriente que fluye por el devanado del estator, en las barras del conductor y en los anillos de los extremos del rotor. Se conocen también como pérdidas por efecto Joule.

**Pérdidas magnéticas**, que se presentan en el laminado de acero del estator y del rotor, se deben a la histéresis y a las corrientes de Foucault, aumentan con el cuadrado de la densidad del flujo magnético.

**Pérdidas mecánicas** debidas a la fricción en los cojinetes y a las pérdidas por ventilación y resistencia al flujo de aire. Con mejores materiales y métodos constructivos se tienen cojinetes con menos pérdidas, así como diseños de ventiladores más livianos y más eficientes con lo que es factible reducir este tipo de pérdidas.

**Pérdidas por corriente de fuga** debidas a la presencia de flujos magnéticos distorsionados que interceptan la carcasa del motor. Este flujo no contribuye de ninguna manera al par del motor. El diseño de motores asistido por computador más los procesos controlados de fabricación permite que se creen flujos magnéticos sinusoidales y que en su mayoría, sean para generar el par del motor.

**Pérdidas por contacto** en las escobillas (motores con escobillas) debidas a las caídas de tensión en estos elementos y a las pérdidas por fricción.

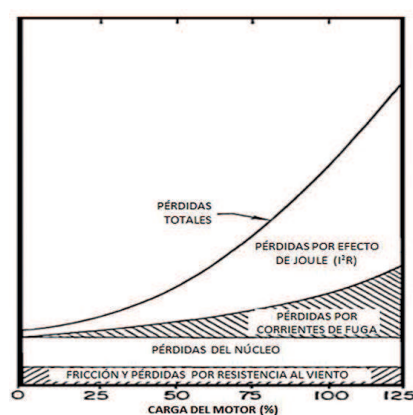


Figura 7. Variación de pérdidas taller ONUDI 2013

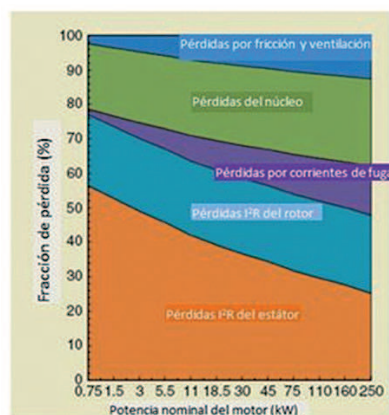


Fig.8 Pérdidas vs potencia motor, Taller ONUDI 2013



La importancia de las pérdidas radica en conocer su comportamiento en relación con la potencia nominal y la carga aplicada al motor (figuras 7 y 8), a fin de seleccionar y operar estos equipos en el rango de menor pérdida factible.

La gráfica 9 muestra cómo se reduce la eficiencia del motor cuando la carga está por debajo del 25% para motores de potencias mayores a 10 HP; en tanto que para motores pequeños, la eficiencia se reduce cuando la carga es menor incluso al 60% de la potencia nominal.

Referencialmente se muestran los logros alcanzados en el diseño, construcción y uso de materiales de un motor Premium de alta eficiencia en el cual se han reducido sus pérdidas.

Algunas mejoras tecnológicas en motores de alta eficiencia o de eficiencia certificada con relación al motor estándar, tienen que ver con:

- Laminado de acero más fino en el estator reduce las corrientes de Foucault
- Cable de mayor diámetro en las boninas del estator
- Estator más largo, baja la densidad magnética e incrementa la capacidad de enfriamiento.
- Diseño eficiente de ventiladores
- Núcleo de acero de grado Premium. Véase figura 10 que muestra la clasificación de motores de alta eficiencia.

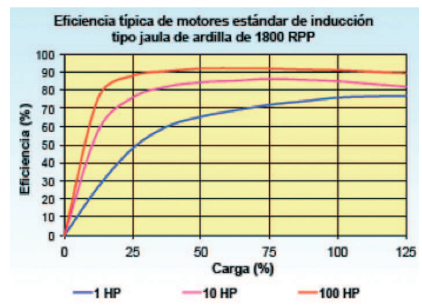


Figura 9. Comportamiento factor de carga, OLADE

## 2.3 Aspectos que inciden en la eficiencia de los motores

Se analizan aspectos que inciden en la eficiencia de operación de los motores eléctricos y sobre los cuales se puede actuar.

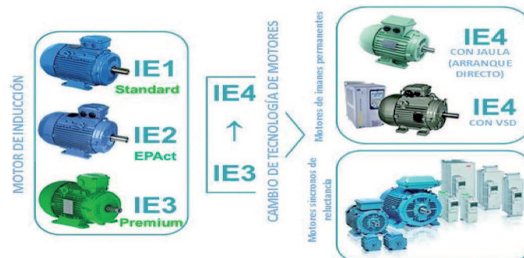


Figura 10. Clasificación Motores de alta eficiencia, Taller ONUDI 2013

## 2.3.1 Calidad de la potencia eléctrica

Los motores eléctricos trifásicos requieren sistemas de alimentación simétricos de tensión sinusoidal y de magnitud similar a su valor nominal, esto es, el sistema debe tener una calidad de potencia perfecta. En la práctica los sistemas industriales no son ideales en simetría, onda sinusoidal, ni en magnitud; hay problemas con la calidad de la potencia. Las alteraciones más usuales son: variación en los niveles de tensión y su simetría y los desequilibrios en las fases.



Figura 11 Variación Eficiencia, ONUDI 2013

### a. Mantenimiento de los niveles de tensión

El nivel de variación de la tensión (en más o en menos) afecta y disminuye la eficiencia de estos equipos y otros parámetros operativos como se puede observar en la gráfica 11.

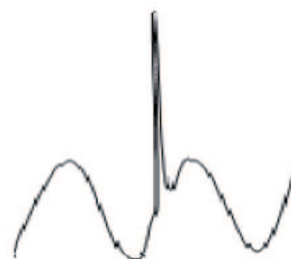


Figura 12 Distorsión Onda, EE en motores

Con tensiones menores al 95% del valor nominal del equipo se espera una pérdida de eficiencia entre 2 y 3%. Trabajar un motor con niveles de tensión superior a su valor de diseño, reduce el factor de potencia y el par de arranque, parámetro este, importante en la operación del motor.

Los efectos debidos a variaciones en la amplitud de la tensión se relacionan también con la reducción de la expectativa de vida del motor, cuando trabaja

a plena carga. Los transitorios de tensión, como muestra la gráfica 12, reduce también la vida útil por efectos de la aplicación de sobretensiones y descargas parciales.

En términos de eficiencia energética, la variación (tensión nominal y tensión de la alimentación al motor) no debe ser mayor al 5%, a pesar de que los motores vienen diseñados para manejar diferencias en el orden del 10%.

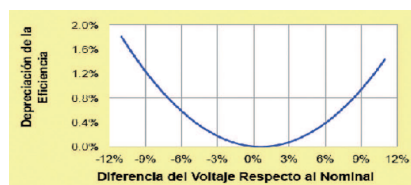


Figura 13. Depreciación Eficiencia. OLADE

La figura 13 indica como la depreciación de la eficiencia de un motor de inducción varía con la diferencia de voltaje de alimentación y su valor nominal.

### ¿Qué hacer?

- *Verifique niveles de tensión de suministro de la Empresa Eléctrica contratada. Efectúe un monitoreo de calidad de la energía, al menos una vez al año.*
- *Dimensione y seleccione adecuadamente los cables eléctricos que alimentan a los motores eléctricos para evitar caídas de tensión en la línea y pérdidas en los conductores.*
- *Ajuste taps de los transformadores principales a los requerimientos de la planta.*
- *Monitoree periódicamente los niveles de tensión con los que se alimenta a los usuarios.*

## b. Mantener un alto Factor de potencia

Bajo factor de potencia se presenta cuando los motores de inducción trabajan con factores de carga u ocupación inferiores al 100%. A menor carga aplicada al motor, mayor será la reducción del factor de po-

tencia. Para motores de menor potencia nominal la incidencia en la caída del factor de potenciales más pronunciada con la reducción del factor de carga que en motores de mayor tamaño.

### ¿Qué hacer?

**Seleccione el motor para trabajar con factores de carga elevados, principalmente cuando trabaja con motores de potencias menores.**

## c. Desequilibrio en la tensión

Una situación que se presenta con frecuencia en una instalación industrial es el desequilibrio de las fases. Esta situación puede ser causada entre otras cosas por las cargas monofásicas, calibres diferentes usados en la red de distribución y fallas de los circuitos. La figura 14 muestra una situación típica de desbalance.

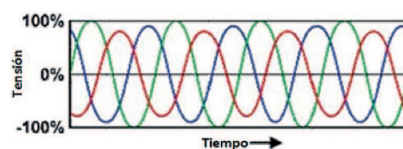


Figura 14. Desbalance trifásico típico.

El desequilibrio se determina por la expresión:

$$\%DT = \frac{\text{máx. desviación de la tensión media}}{\text{tensión media}} \times 100$$

El nivel de desequilibrio debe reducirse, puesto que el mismo, aumenta las pérdidas en el sistema de distribución eléctrica, incrementa la temperatura y reduce

la eficiencia del motor como se muestra en la gráfica 15. Según la norma NEMA MG1. 1993 y la IEC 60034-2 el desbalance no debe ser mayor al 2%.

Una desbalance de apenas el 3% puede significar una reducción del 1,6% en la eficiencia del motor. Dependiendo de la eficiencia de este motor y de las horas de operación, el potencial de ahorro o consumo eléctrico adicional por esta distorsión, puede estar en el orden de miles de Kwh por año.

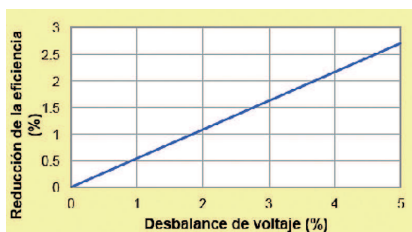


Figura 15. Reducción de eficiencia del motor. OLADE

Otro efecto del desbalance de la tensión tiene que ver con la **pérdida de la disponibilidad de potencia del motor**. Esta afectación se la conoce también como **reclasificación** del motor. La figura 16 muestra la relación del grado de desbalance y el factor de reclasificación.

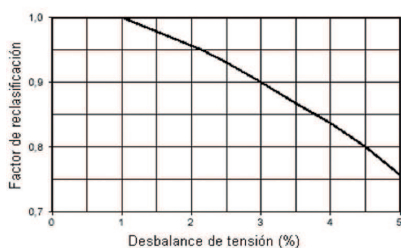


Figura 16. EE en motores Eléctricos U. de Occidente

El desbalance de tensión también afecta la expectativa de vida del motor como se indicó. Una manera de determinar el nivel de incidencia es utilizar gráficas como la figura 17 que se indica adelante.

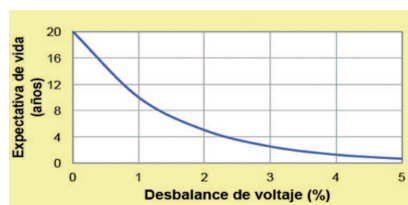


Figura 17. Reducción vida útil motores, OLADE

### ¿Qué hacer?

- **Balancee las cargas conectadas a las fases.**
- **Controle instalación de nuevas cargas al sistema.**
- **Verifique periódicamente el nivel de desbalance en fases y actúe en función de los resultados.**
- **Haga un seguimiento y documente acciones y resultados.**

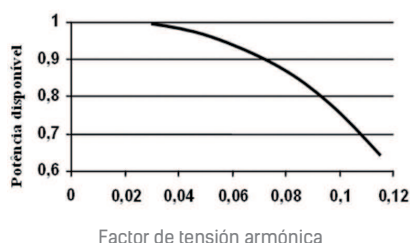
## d. Distorsión Armónica

El uso de variadores de velocidad, rectificadores, controladores, cargas de impedancia variable, carga de núcleo saturado (transformadores), causa distorsión en las ondas de tensión que puede cuantificarse mediante la distorsión armónica de tensión, HVD. La aplicación de estas ondas de potencia distorsionadas a un motor, genera calentamiento y por ende aumento en las pérdidas y reducción en



su eficiencia. La relación entre el nivel de distorsión y la reducción en la disponibilidad de potencia del motor se observa en la figura 18.

Los niveles de distorsión armónica registrados en el trabajo de campo efectuado por la Universidad de Cuenca, en las empresas analizadas, muestran valores bajos. No obstante, estos dependerán sustancialmente del punto en el cual se hagan las mediciones dentro de la red de distribución eléctrica de la planta.



Factor de tensión armónica  
Figura 18. Incidencia de armónicos  
Taller ONUDI 2013

Es recomendable hacer lecturas en la alimentación de los motores grandes y más aún si estos se hallan cerca de variadores de frecuencia o algún otro equipo electrónico; y, en lugares alejados del punto de alimentación eléctrica a la planta.

La norma técnica NEMA MG1. 1993 recomienda que la distorsión no debería ser mayor al 5%.

### Tipos de armónicos

- **Secuencia negativa:** - 5°, 11°, 17°...  
(*secuencia inversa*)
- **Secuencia positiva:** + 7°, 13°, 19°...  
(*secuencia positiva*)

En sistemas monofásicos el 3° armónico es el que más problemas ocasiona, ge-

nera carga al conductor neutro y reduce el factor de potencia. Para sistemas trifásicos el 5° armónico es el que normalmente tiene una mayor magnitud y al ser de secuencia negativa tiende a frenar al motor, lo que reduce el par y genera calentamiento.

En sistemas desequilibrados con conductor neutro, están presentes los armónicos - 3°, 6°, 9°.

### Otros efectos a cuidar por la presencia de niveles altos de armónicos:

- Factor de potencia bajo, es decir, alta corriente eléctrica para una potencia útil determinada.
- Daños en los capacitores usados para corrección del factor de potencia.
- Calentamiento excesivo de los motores de inducción. La temperatura es el enemigo número de los motores y afecta a la eficiencia y vida útil esperada.
- Excesivo ruido en transformadores, barras colectoras, equipos de comunicación y otros.
- Interferencias con los equipos sensibles a las ondas de tensión.

### ¿Qué hacer?

#### **Conectar el equipo a un punto de alto nivel de falla (baja impedancia)**

En proyectos nuevos cuando es posible elegir un punto de conexión o en casos de reacomodo de las instalaciones antiguas, se sugiere conectar las cargas distorsionantes a las barras principales del sistema de distribución y no a los cables comunes en donde se conectan el resto

de equipos. Aquí luego se puede instalar soluciones como filtros por ejemplo.

#### ***Prefiera el uso de controladores trifásicos en lugar de monofásicos***

La corriente armónica de un controlador trifásico, para una potencia determinada, corresponde al 30% de su similar monofásico. Además, si los armónicos son generados por cargas monofásicas, los variadores trifásicos también reducirán el 5° y 7° armónicos dominantes.

#### ***Utilice rectificadores con un mayor número de pulsos***

#### ***Use filtros para armónicos***

Los filtros de armónicos se construyen usando arreglos de condensadores, inductores y resistores, capaces de desviar las corrientes armónicas a tierra. Cada filtro puede contener muchos de esos elementos, cada uno se usa para desviar los armónicos de una frecuencia específica.

El Anexo 1 resume las principales distorsiones asociadas al evento que las origina, las consecuencias y algunos ejemplos de soluciones posibles para atenuar las perturbaciones.

## 2.3.2 Selección apropiada del motor

**E**l primer paso para ser eficientes en la operación de motores eléctricos es hacer una buena elección de su potencia nominal en función de la carga que va a manejar.

#### **¿Qué hacer?**

- *Considere los requerimientos mecánicos de la carga que va a manejar*
- *La clasificación del motor (ciclos de servicio)*
- *El sistema de distribución eléctrica que dispone.*
- *Las consideraciones físicas y medioambientales en las cuales funcionará el motor.*

## 2.3.3 Condiciones Ambientales

### Temperatura y altitud

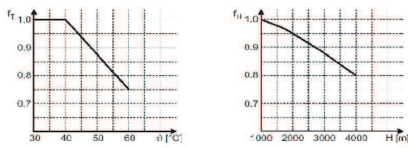
Los motores están diseñados para trabajar en temperaturas ambiente hasta de 40° C. Sin embargo hay ambientes industriales que fácilmente superan esta temperatura. **Someter el motor a temperaturas elevadas significa reducir su disponibilidad de**

**potencia nominal puesto que las bobinas trabajarán a temperaturas mayores que la ambiente.**

**Preste atención a la altitud en la que trabajará el motor.** El aire en la altura es menos denso que a nivel del



mar; entonces, la ventilación será menos eficiente y por tanto removerá menos calor. Esto hará que el motor trabaje a una temperatura mayor y por consiguiente habrá una reducción de su potencia nominal.



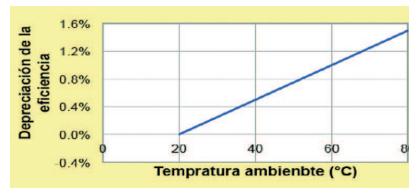
$$P_{Nred} = P_N \cdot f_T \cdot f_H$$

Figura 19. Derrateo motor EE motores, U de Occidente

En la figura 19 se muestra el factor de pérdida en potencia del motor para temperaturas >40°C y < 60°C; y, para altitudes mayores a 1000 msnm.

Esta pérdida se conoce como "derrateo" del motor. Observe y considere siempre la información de la placa del motor, allí se indica la temperatura ambiente, la eficiencia del motor para distintas condiciones de carga, entre otra información.

A más alta temperatura del ambiente de trabajo, mayor será la temperatura del motor afectando negativamente o depreciando su eficiencia como se observa en la figura 21.



Temperatura ambiente  
Figura 21. Pérdida de Eficiencia por T ambiente. OLADE

### ¿Qué hacer?

*En lo posible, trabajelos motores en ambientes con temperaturas dentro de las especificaciones del fabricante.*

*Evite zonas calientes*

*Evite acumulación de polvo u otro material sobre el motor, considere la altitud del sitio de operación el momento de elegir la potencia nominal para la carga de trabajo.*

| W22 Premium IES   |    | CE                                       |      | VDE 0530 IEC 60034                 |      |
|---|----|--|------|------------------------------------|------|
| ~ 3 315S/M-04   |    | IP55                                     |      | INS CL F ΔT 80 K S1                |      |
| V   | Hz | kW                                       | RPM  | A                                  | PF   |
| 380 Δ / 660 Y   | 50 | 1.85                                     | 1485 | 3.32 / 1.91                        | 0.88 |
| 400 Δ / 690 Y   |    |  | 1490 | 3.18 / 1.84                        | 0.87 |
| 415 Δ / -   |    |  | 1490 | 3.10 / -                           | 0.86 |
| 460 Δ / -   | 60 |  | 1790 | 2.84 / -                           | 0.85 |
| 6319-C3(45g)<br>6316-C3(34g)<br>MOBIL POLYREX EM<br>11000 h |    | J2 J2 J2<br>J1 J1 J1<br>Δ L1 L2 L3       |      | J2 J2 J2<br>J1 J1 J1<br>Δ L1 L2 L3 |      |
|   |    | NEMA EFF 96.2% 250HP 460 V 60Hz 1790 RPM |      | SF1.00 AMB 40°C                    |      |
|   |    | 284 A PFD.85 Des A Code H SF1.15 CC029A  |      | 100% 75% 50%                       |      |
|   |    | All 1000 m.a.s.l. 1.259kg                |      | 96.3 96.3 95.9                     |      |
|   |    |  |      | 96.5 96.3 95.8                     |      |
|   |    |  |      | 96.2 95.8 95.0                     |      |

Figura 20. Placa de motor, Taller ONUDI 2013

## 2.3.4 Prácticas de Mantenimiento utilizadas

**D**e las prácticas de mantenimiento que más afectan a la eficiencia del motor está el rebobinado. Un motor puede rebobinarse muchas veces. No obstante, al no tener control sobre la calidad de la reparación, esta operación puede significar una pérdida importante de la eficiencia.

Si durante la reparación no hay control sobre la temperatura de calentamiento y se alcanza los 350°C o peor aún se supera, se presentarán daños en el núcleo

del hierro alterando y modificando sus propiedades.

La pérdida de eficiencia del motor rebobinado se asocia con la temperatura a la cual fue sometido durante las labores de reparación. La tabla de la figura 22 muestra la reducción de la eficiencia en función de esa temperatura.

| Temperatura a la que se sometió el motor (°C) | Depreciación de la eficiencia (puntos porcentuales) |
|---|---|
| < 633   | 0.40  |
| 633   | 0.53  |
| 683   | 1.17  |
| 733   | 2.50  |

Figura 22. Depreciación vida útil motor. OLADE

- *¿Qué hacer?*
- *Analice el reemplazo del motor en lugar de rebobinarlo.*
- *Considere la antigüedad del equipo y el número derebobinajes anteriores.*
- *Determine el factor de carga del motor y su eficiencia para analizar la conveniencia de su reemplazo.*

## 2.4 Opciones de ahorro energético en motores eléctricos

### 2.4.1 Reemplazo del motor antes que este falle

**L**as necesidades de producción hacen que, en caso de fallo de un motor, se vea como prioritario hacerlo funcionar nuevamente o reemplazarlo de forma inmediata. Esto conduce a decisiones que se toman con

un análisis de corto plazo y con impacto negativo sobre la eficiencia energética y la vida útil del motor. Una evaluación tomada con calma nos puede conducir a sustituir los motores por otros de mayor eficiencia y de tamaño apropiado.



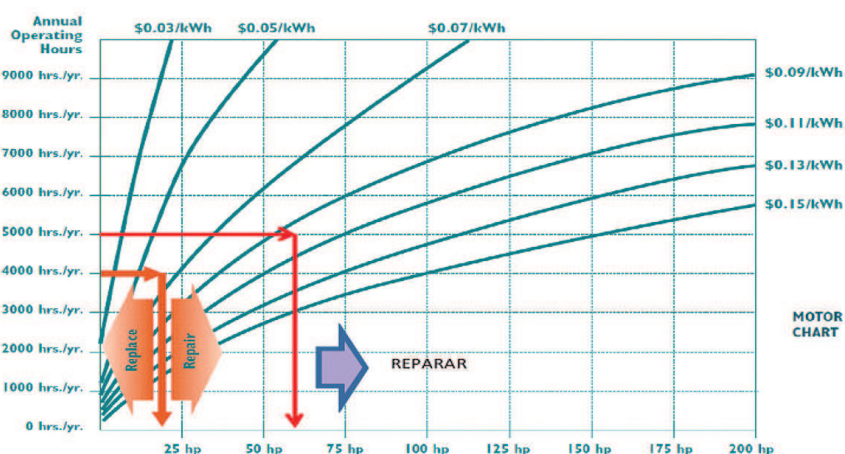


Figura 23. Reparación o compra de motor. Energy Efficient Motor Systems

La figura 23 puede ayudar a tomar una decisión en este sentido. La información del motor que necesita:

1. Horas de operación
2. Potencia nominal.
3. Costo del kWh.

A manera de ejemplo, se aplica las curvas para un motor que opera 5000 horas/año a un costo de 0,10 \$/kWh.

En la figura 24 ingresa en el eje vertical las horas de operación y desde allí, trace una línea horizontal hasta cortar con la curva del costo de energía. Desde este punto baje una vertical hasta cortar el eje

de las x, en donde aparece la potencia del motor. En el ejemplo, la intersección ocurre en una potencia de 60 HP.

El resultado indica que, hacia la derecha de esta potencia, los motores deberían repararse y los de potencia menor a 60 HP, deberían reemplazarse.

En general, motores de 50 HP ó más deberían repararse hasta un máximo de tres veces después de lo cual el motor debería reemplazarse.

Un motor estándar debería ser reemplazado si el costo de su reparación es superior al 60% de un motor nuevo de eficiencia mejorada o certificada.

### ¿Qué hacer?

- Analice el costo de reparación considerando la edad del motor, su condición general y la disponibilidad de un nuevo motor
- Analice si rebobina o compra un nuevo motor tipo estándar.
- Evalúe si compra un motor de eficiencia certificada.

## 2.4.2 Adecúe las velocidades de operación del motor

Los motores de alta eficiencia, normalmente tienen velocidades mayores que uno de menor eficiencia y por tanto menor deslizamiento. En promedio este deslizamiento puede estar entre 25 y 30% menos por cada incremento en la escala de eficiencia para motores estándar de igual potencia nominal.

Si el motor de alta eficiencia se instala en una bomba o un ventilador (en general en una turbo máquina), hará que estos giren a mayor velocidad.

Por las leyes de afinidad de estos equipos, el consumo de potencia mantiene una relación cúbica con su velocidad de giro. Esto significa que un incremento del 3% en la velocidad hará que la potencia eléctrica sea mayor en el 9%. Estos valores pueden contrarrestar cualquier ahorro debido a la instalación de un motor de alta eficiencia y llegar a conclusiones erróneas sobre sus prestaciones.

## 2.4.3 Elija el tamaño adecuado de motor

Es recomendable darse un margen de seguridad entre el requerimiento de la carga y la potencia nominal. No obstante recuerde que la eficiencia permanece constante hasta casi el 50% de la carga nominal. Una variación importante se registra por debajo de esta condición.

Situaciones temporales de sobrecarga puede ser tolerada, dependiendo del nivel y tiempo de operación en esa condición. Así por ejemplo, un motor que opera 1 ó 2 horas diarias con un 15% de sobrecarga no presenta problemas, sin embargo, si ese mismo motor trabaja en forma permanente a esa sobrecarga, su vida útil se verá mermada.

### ¿Qué hacer?

- *Trabaje el motor en la zona de mayor eficiencia.*
- *Note que un motor sobredimensionado incrementa la inversión, ya que todos los componentes eléctricos, cableados y controles se dimensionan para su potencia nominal.*
- *Recuerde que los motores más eficientes trabajan a temperaturas más bajas y su capacidad de sobre carga es mayor que sus similares estándares. Esto sugiere no seleccionar el motor para cargas elevadas que ocurran ocasionalmente.*



# 3. Sistemas de Bombeo

*“La suma del todo es más grande que el valor individual de sus componentes”.*

**C**ada elemento de un sistema debe ser seleccionado y operado en su mejor zona de eficiencia energética y durante la mayoría del tiempo en que el sistema está en funcionamiento.

El desempeño energético del sistema debe estar asociado al consumo de energía eléctrica y al trabajo útil desarrollado o al número de unidades producidas. Si no hay trabajo útil o unidades producidas, la eficiencia del sistema es nula.

Un balance típico de energía para un sistema de bombeo es como se muestra en la figura 24.

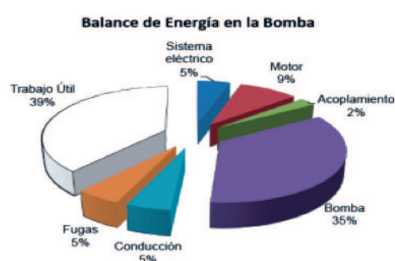


Figura 24 Distribución de energía. OLADE

Observe que la bomba es el componente de mayor pérdida y la misma se manifiesta en forma de calor. La selección de la bomba así como su zona de operación son fundamentales el momento de optimizar el consumo energético como se verá más adelante.

## 3.1 Algunos conceptos básicos sobre bombas

**L**a eficiencia de la bomba está dada por la siguiente relación que hace referencia a la figura 25.

$$\eta_b = \left( \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia mecánica}} \right) \times 100$$

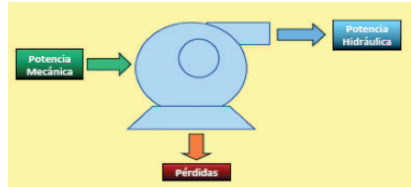


Figura 25. Esquema de potencias bombas, OLADE

La potencia mecánica corresponde a la entregada por el motor eléctrico y la potencia hidráulica es el trabajo útil que se hace la bomba.

**La Potencia hidráulica** por su parte está dada por la expresión:

$$Ph = Q \times H_b \times g \times \rho$$

**Dónde:**

- $Ph$  = potencia hidráulica (vatios)
- $Q$  = caudal o gasto (m<sup>3</sup>/seg.)

- $H_b$  = carga de bombeo (metros de columna de agua)
- $G$  = gravedad (m / seg.2)
- $\rho$  = densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

De los parámetros de la ecuación, dos son constantes y dos corresponden a características propias del sistema (carga de bombeo y caudal). Se puede decir que la potencia hidráulica es directamente proporcional al caudal y a la carga de bombeo, entendiéndose ésta última como la variación de presión que se da entre la succión y la descarga de la bomba. Veremos cómo determinar la carga de bombeo para dos situaciones más comunes en la industria: bombas sólo con carga dinámica y bombas con carga estática y dinámica (figuras 26 y 27).

### 3.1.1 Carga de bombeo

#### En bombas horizontales

Para bombas horizontales se puede determinar por la diferencia directa entre la presión de la succión y la descarga.

$$H_b = P_d - P_s \quad [\text{mca}]$$

mca: metros de columna de agua

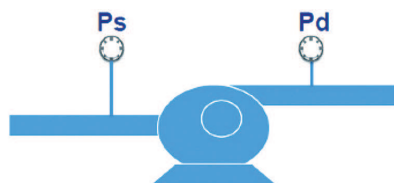
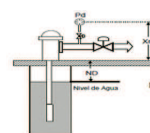


Figura 26. Esquema carga de bombeo, OLADE

#### En bombas verticales

Con la determinación de la carga de bombeo, es factible determinar la potencia hidráulica o trabajo útil, luego la eficiencia de la bomba y con ello tener un parámetro de referencia importante para juzgar la operación y el desempeño energético del sistema de bombeo.



$$H = P_d + ND + X_m + H_{fr} + H_v$$

Dónde:  $H$  = es la carga de bombeo (mca)  
 $P_d$  = es la presión en la descarga (mca)  
 $ND$  = es la distancia del nivel de referencia al espejo de agua (mca)  
 $X_m$  = es la distancia del nivel de referencia al centro del manómetro  
 $H_{fr}$  = son las pérdidas por fricción en la tubería entre la bomba y el manómetro (mca)  
 $H_v = \frac{v^2}{2g}$ , son las pérdidas de carga por velocidad (mca)

Figura 27. Esquema carga de bombeo, OLADE



## 3.1.2 Curvas características de las bombas

Estas permiten describir los parámetros operacionales de la bomba como carga, eficiencia, potencia eléctrica demandada. Véase figura 28.

La curva en azul representa la carga capacidad que muestra la relación entre carga de bombeo y caudal a entregarse. Así, si la carga es de 45 mca, la bomba estará en capacidad de entregar 43 litros/ segundo. Si la carga baja a 23 mca, el caudal a entregar se incrementa a 60 l/s.

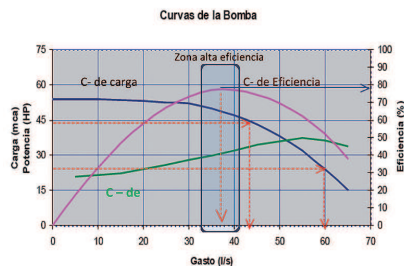


Figura 28. Curvas características bombas, OLADE

La curva lila describe la relación entre eficiencia de la bomba y caudal. Observe que la mejor eficiencia es del 78% y el caudal de entrega es de 38 l/s para una carga de 47 mca. Pero si, por alguna razón, se necesita 60 l/s en lugar de 38, la eficiencia en estas condiciones habrá descendido al 32%.

La curva verde describe la potencia demandada por la bomba y es la que permite seleccionar el motor eléctrico.

Las bombas trabajan dentro de un sistema de conducción hidráulica. Estas tuberías también tienen sus curvas características de carga o pérdidas por fricción. La configuración de las curvas va a depender del diámetro de la tubería, del material de las mismas, del cuadrado de la velocidad y las características físicas del fluido. Véase la figura 29 líneas en colores que tienen su origen en 40 mca del eje y.

El punto de cruce de la curva de carga de la bomba con la curva de carga del sistema, determina **el punto de operación del sistema**. Este define, la carga de bombeo, el caudal, la eficiencia y la demanda de potencia eléctrica. Debe

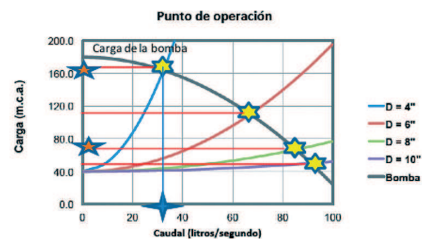


Figura 29. Punto de Operación OLADE

confirmarse si este punto corresponde a los requerimientos propios y únicos del sistema.

Como se ve, los puntos de operación de la bomba son variados dependiendo de la curva del sistema y su intersección con la curva de carga de la bomba. La parte fija del eje "y" corresponde a la carga geométrica y la variable, representa a las pérdidas por fricción en el sistema de

conducción.

En la práctica estos puntos de operación no siempre encajan con los requerimientos de carga y de caudal. Para empatar estos requisitos, se suele instalar válvulas de estrangulamiento a la salida de la bomba para reducir el caudal generando carga adicional al sistema y desplazando el punto de operación a una zona de menor eficiencia.

### 3.1.3 Ejemplo de aplicación

Una empresa posee una bomba centrífuga para suministrar un caudal de 25 l/s para una carga de 90 mca (metros de columna de agua). Por seguridad compró una para 40 l/s y así garantizar el suministro "futuro" para igual carga. La bomba opera 5000 horas al año. La figura 30, representa los dos puntos de operación del sistema: el seleccionado y el real para las curvas características de la bomba.

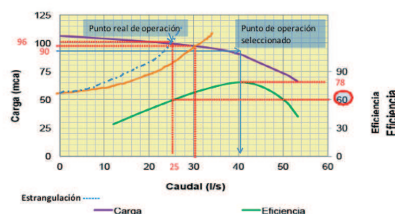


Figura 30. Curvas de eficiencia bombas, OLAD

Como se observa, esta transición provoca que la bomba pase de una eficiencia del 78% a una del 60%. Para referencia se determina el consumo adicional de energía por trabajar la bomba en una zona fuera de su zona de diseño. Los resultados se muestran en la tabla.

| PARÁMETRO                            | Unidad            | Bomba Especificada | Bomba Correcta |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Caudal                               | m <sup>3</sup> /s | 0,025              | 0,025          |
| Carga                                | m.c.a             | 100                | 90             |
| Potencia hidráulica                  | kw                | 24,5               | 22,05          |
| Eficiencia de la bomba               | %                 | 60                 | 78             |
| Potencia mecánica demandada          | kw                | 40,83              | 28,27          |
| Potencia nominal del motor           | HP                | 50                 | 30             |
| Costo del equipo (bomba motor)       | USD               | 7200               | 5700           |
| Gasto adicional en el equipo         | USD               | 1200               |                |
| Eficiencia del motor                 | %                 | 92                 | 92             |
| Potencia eléctrica                   | kw                | 44,3               | 30,73          |
| Horas de operación                   | h/año             | 5.000              | 5.000          |
| Energía consumida                    | kwh/año           | 221.500            | 153.637        |
| Costo de la energía                  | USD/kwh           | 0,1                | 0,1            |
| Facturación por bombeo               | USD/año           | 22.150             | 15.364         |
| Gasto operativo adicional en factura | USD/año           | 6.786              |                |

Para determinar la eficiencia de la bomba refiérase al Anexo 2.

Consumo 44% adicional que para una buena selección.



## 3.2 Factores que afectan el consumo eléctrico

### 3.2.1 Leyes de Afinidad y velocidad específica de las bombas.

**P**ara aplicar estas leyes se necesita que toda la carga de bombeo se deba a pérdidas por fricción y no exista carga estática o geométrica en el sistema.

$$\begin{aligned} Q &\propto N \\ H &\propto N^2 \\ P &\propto N^3 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{N_1}{N_2} \\ \frac{H_1}{H_2} &= \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \\ \frac{P_1}{P_2} &= \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \end{aligned}$$

Donde:  
*N* = velocidad de rotación del eje  
*Q* = Flujo o caudal  
*H* = Altura o carga  
*P* = Potencia demanda  
*N<sub>s</sub>* = velocidad específica

$$\eta_s = n \frac{(Q \text{ opt})^{1/2}}{(H \text{ opt})^{3/4}}$$

- Cambiar la velocidad de rotación significa que la altura o carga cambiará al cuadrado.
- La potencia es proporcional a la velocidad multiplicada por la altura, entonces cambia con la velocidad al cubo. Una reducción de un 20% en

la velocidad puede significar hasta un 50% menos en potencia.

- Reducir el diámetro del impeler es una opción de bajo costo para reducir el flujo, la potencia y la presión.
- - Así,  $Q_1/Q_2 = D_1/D_2$ ,  $hp_1/hp_2 = (D_1/D_2)^3$ ,  $P_1/P_2 = (D_1/D_2)^3$   
 Donde *D* = diámetro del impeler. Si bien la eficiencia de la bomba se reduce ligeramente, el beneficio en términos de ahorro energético es mayor.
- Las pérdidas por fricción se incrementan con el cuadrado de la velocidad del fluido.

El rodete o impeler de la bomba obtiene a su eficiencia máxima cuando se acerca al diámetro máximo. Un rodete más pequeño será menos eficiente, pero los ahorros del sistema serán mayores.

## 3.2.2 El tipo de control usado en bombas centrífugas

### Control de caudal

Los procesos productivos no siempre requieren de un caudal que se ajusta exactamente al que entrega la bomba en su mejor zona de operación. Por esto, es preciso aplicar un método para controlar el caudal.

En general, los métodos más usados de control son:

- Por estrangulamiento (válvula)
- Por paro – encendido de la bomba (on – off)
- Por desvío o bypass
- Por variación de velocidad de la bomba.

### Control por estrangulamiento

Una válvula en la descarga de la bomba aumenta la curva de carga del sistema, incrementa las pérdidas por fricción (carga dinámica), reduce el consumo de potencia pero aumenta la potencia que se consume en las pérdidas.

Tiene limitaciones ya que fija el valor del caudal de entrega. Si se necesita un caudal variable se precisa de otro método de control.

### Control por desvío o by – pass

El caudal en exceso se desvía a un sumidero o de regreso a la succión de la bomba, limitando el caudal al proceso. Al igual que el anterior se usa en sistemas sobredimensionados o en la operación de sistemas de capacidad variable.

Al manejar un mayor gasto o caudal, la bomba reduce la carga de bombeo, aumenta la potencia y requiere mayor presión neta positiva en la succión. La operación no es rentable en términos de desempeño ya que gasta más energía para el caudal útil.

### Control por variación de velocidad de giro de la bomba

Con este método se cambia la velocidad de bombeo modificando la curva característica de la bomba. Al no alterar la curva de carga del sistema, se garantiza que las pérdidas no se incrementan. Es ideal para requerimientos de caudal variable.

### Control de presión

Puede ser hecho con un control on – off encendiendo y apagando la bomba en función de la presión de seteo o variando la velocidad de la bomba.



## 3.2.3 Curva de duración del Flujo

**E**l punto de operación del sistema puede ser alterado por razones debidas a producción, al clima y al tipo de producto que se elabora. Es factible y útil construir el patrón de comportamiento de los puntos de operación del sistema versus el tiempo que se dedica a cada uno. Esto se conoce como “**curva de duración del flujo**”. Será importante analizar, si hay opciones de predecir las necesidades de flujo como ocurre por ejemplo en los requerimientos de frío.

Si cuenta con **más de tres puntos de operación el sistema** se dice que tiene un buen candidato para la instalación de tecnologías orientadas a variar la velocidad de rotación de la bomba como medio de control del caudal.

Para un número reducido de puntos de operación, una alternativa sería el uso de motores de múltiple velocidad. Para aplicaciones de caudal constante trabajando en un sólo punto de operación, no es necesario un control de flujo por velocidad.

## 3.3 Oportunidades de ahorro en sistemas de bombeo

### 3.3.1 Buena selección de la bomba y del punto de operación

#### ¿Qué hacer?

- *Opere la bomba en su zona de mejor desempeño, a pesar de las variaciones propias del punto de operación, incluso en sistemas funcionando en un amplio rango de cargas bajas debido a cambios en producción.*
- *Evite sobredimensionamientos que afectan al desempeño de la bomba, requiriendo algún tipo de control del flujo o caudal.*
- *Para ineficiencias debidas a sobredimensionamiento estas pueden ser reducidas instalando un variador de velocidad, un motor de dos velocidades, bajando la velocidad o instalando un impeler más pequeño en la bomba.*

## 3.3.2 Control del flujo variando la velocidad

### ¿Qué hacer?

- Use como control del flujo la variación de velocidad de la bomba, será la mejor opción desde el punto de vista del consumo energético.
- Analice el uso de variadores de velocidad (VSD, variable speed drive por sus siglas en inglés).

Los beneficios en el uso del control de velocidad se muestran en la figura 31. El área verde representa el potencial de ahorro posible para un caudal determinado. Observe que para un control del 50% del caudal se tienen ahorros significativos.

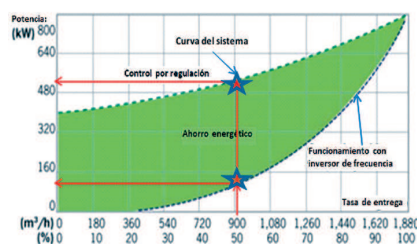


Figura 31. Potencial de ahorro. OLADE

Un ejemplo de sustitución del control de flujo tradicional (desvío del flujo excedente al depósito principal de agua fría) por un variador de velocidad controlado por un transductor de presión que modifica la velocidad de la bomba, se muestra en la figura 32.

Otros beneficios de los VSD:

- Mejoran el control del proceso
- Mejoran la confiabilidad de los sistemas puesto que se reduce el desgaste de rodamientos, sellos y de las mismas bombas.

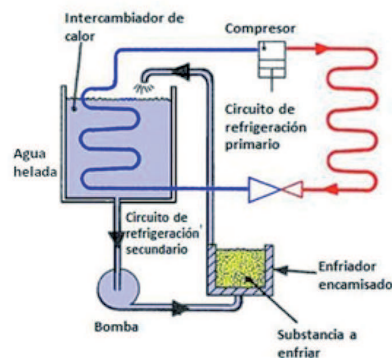


Figura 32. Sistema de frío, OLADE

### 3.3.3 Bombas en paralelo para demanda variable

#### ¿Qué hacer?

- *Operar dos bombas en paralelo, apagando una cuando la demanda baja puede alcanzar ahorros significativos.*
- *Si la carga estática del sistema es más del 50% de la carga dinámica, prefiera el uso de bombas en paralelo.*

### 3.3.4 Flujo o caudal que se desperdicia

#### ¿Qué hacer?

- *De ser factible suspenda la operación en procesos cíclicos en los cuales no se requiere el fluido y se mantiene en circulación*
- *en circuitos alternos (bypass) o enviando algún sumidero.*
- *Cuide de que no hayan sistemas operando cuando el resto del proceso se apaga.*

# 4. Sistemas de compresión de Aire

**A** nivel de la industria de alimentos, por su versatilidad, los usos más frecuentes del aire comprimido se encuentran en deshidratadoras, equipos de empaqueo, cintas transportadoras, accionamientos y controles neumáticos, aunque no sean energéticamente eficientes.

Las necesidades de presión para este tipo de industrias normalmente son bajas, esto es, hasta unos 10 bares (145 psi aprox.). El tipo de compresores que se encuentran son los de pistón de una o dos etapas, de tornillo y centrífugos.

En general la figura 33 muestra la distribución de pérdidas para un sistema de compresión de aire. La energía útil o la que hace el trabajo útil llega a un 23%, por esta razón se dice que el aire comprimido en términos energéticos es extremadamente costoso, por esta razón se hace necesario cuidar los consumos dispendiosos.

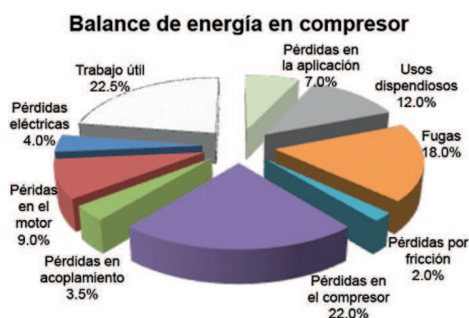


Figura 33. Distribución de energías compresores, OLADE



## 4.1 Algunos conceptos básicos

**E**l aire al comprimirse acumula energía que luego puede aprovecharse para producir trabajo.

Tres propiedades físicas ayudan a describir las condiciones de aire comprimido: presión (**P**), temperatura (**T**) y volumen (**V**).

Se relacionan por la expresión:

$$P = \frac{T}{V}$$

El flujo de aire comprimido es una relación del volumen por unidad de tiempo, expresado en cfm (pies cúbico por minuto).

$$F = \frac{V}{t}$$

### 4.1.1 Capacidad del compresor

**S**e expresa como la cantidad o flujo de aire comprimido suministrada por el equipo (en cfm) a una presión específica, se trata de un dato normalmente suministrado por el fabricante. La capacidad está asociada a las condiciones de temperatura y presión del aire que succiona. Normalmente, estas condiciones en la placa del equipo hace referencia a **T = 20 °C** y **P = 1 atmósfera ó 14,7 psi**.

Si las condiciones del aire de admisión son distintas a las que indica el fabricante, habrá que utilizar factores de corrección, debidas a la T y P, para determinar la capacidad del compresor.

Así por ejemplo, **corrección por temperatura,**

$$F_t = \frac{T_r}{T_d}$$

Dónde:

**T<sub>r</sub>**= temperatura real para el aire de succión en °K

**T<sub>d</sub>**= temperatura de diseño, la del fabricante en °K

**Corrección por presión,**

$$F_p = \frac{P_r}{P_d}$$

Dónde:

**P<sub>r</sub>**= presión atmosférica del sitio

**P<sub>d</sub>**= presión atmosférica de diseño

**La corrección total** a la capacidad del compresor se hace con la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad corregida del compresor} = F_p \times F_t \times C_{\text{diseño}}$$

Dónde:

**C diseño**, es la capacidad de diseño del compresor.

## 4.1.2 Calidad del aire comprimido

La calidad del aire comprimido está determinada por la humedad y el nivel de contaminantes permitidos en los usos finales.

Para esto, se emplean equipos de filtración y secadores de aire. A mayor calidad de aire, mayor inversión en equipos, en costos energéticos y de mantenimiento.

## 4.1.3 Eficiencia del sistema de compresión

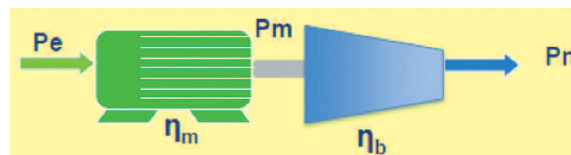


Figura 34. Esquema sistema compresión, OLADE

En la figura 34,  $P_n$  es la potencia de salida o neumática que suministra el compresor y que se calcula con la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{144}{33,000} \frac{k}{(k-1)} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} - 1 \right]$$

Dónde:

**K** es constante (para el aire = 1.4)

**P1** es la presión del aire en las condiciones de succión (psia)

**P2** es la presión del aire en las condiciones de descarga (psia)

**V1** es el desplazamiento volumétrico del compresor (cfm)

Para obtener el valor de  $V_1$ , se puede contabilizar el consumo de cada uso final y luego sumarles más un porcentaje por pérdidas en el sistema ó colocar un medidor de flujo de aire a la salida del compresor.

Con esta información, se aplica un procedimiento similar al indicado para las bombas para calcular la eficiencia del compresor.

## 4.2 Áreas de oportunidad para ahorro energético

### 4.2.1 Reducción de la presión de suministro

#### ¿Qué hacer?

- Para la mayoría de compresores de desplazamiento positivo, una reducción en la presión de suministro de aire, de 1 bar, produce ahorros de energía en el orden de 6 y 7%. Véase la figura 35. En este sentido, la presión de salida del compresor debe ser la mínima aceptable en los usos finales más significativos de la empresa.

- Tome precauciones en compresores centrífugos. Toda reducción debe ser hecha en rango pequeños y monitoreando los efectos en el lado de producción o del consumo final.

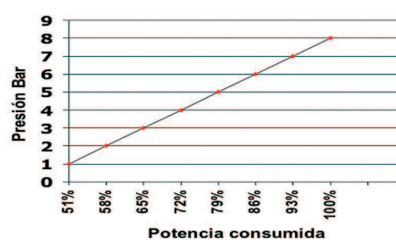


Figura 35. Relación presión vs. Potencia eléctrica consumida, OLADE

### 4.2.2 Relación demanda – capacidad de entrega

#### ¿Qué hacer?

- Evaluar la variación de los requerimientos de aire comprimido en el tiempo. Amplias variaciones de carga pueden requerir varios compresores. Recuerde que los compresores trabajando a carga parcial tienen menos eficiencia operativa.
- Use compresores pequeños para manejar las demandas pico de corta duración. Analice el manejo de cargas picos con la instalación de tanques de almacenamien-

to, instalados cerca de estas demandas estabilizarán la presión y reducirán la necesidad de mayor capacidad instalada.

- Con múltiples compresores, opere eficientemente a pesar de que trabajen en cargas parciales. Gestione la secuencia de encendido para múltiples compresores. Prefiera un compresor grande en modo de servicio + espera y un compresor pequeño. Prefiera la instalación de un controlador secuencial.

## 4.2.3 Variación de la velocidad del compresor

**R**ecuerde las leyes de afinidad que aplican también a los compresores: la reducción de la velocidad del 100% al 80%, significará reducir la potencia demandada en:

$$\frac{HP_{80\%}}{HP_{100\%}} = \left[ \frac{N_{80\%}}{N_{100\%}} \right]^3 = 51.2 \%$$

### ¿Qué hacer?

- *Instale variadores de velocidad que ayudan a:*
  - *Mejorar el rendimiento a carga parcial*
  - *Seguir a la presión de cierre*
  - *Evitar cajas de engranajes*
- *Sin embargo considere también:*
  - *HAY más consumo de energía a plena carga*
  - *No sirven para suministrar carga base.*

## 4.2.4 Buen diseño y operación del sistema de distribución

| Sector de la red distribución | Velocidad Recomendada, m/s |
|-------------------------------|----------------------------|
| Aspiración                    | 5 - 7                      |
| Colectores principales        | < 8                        |
| Tuberías secundarias          | 10 - 15                    |
| Mangueras                     | hasta 30                   |

### ¿Qué hacer?

- *Reduzca caídas de presión. Un buen diseño permite una caída de presión del aire entre el punto de descarga del compresor (o tanque distribuidor) y el punto de uso final no mayor al 10%.*
- *Optimice el trazado y haga la selección apropiada de los diá-*

*metros de la red. Esto influye en la caída de presión en tubería y accesorios. Las velocidades recomendadas se indican en la tabla.*

- *Inspeccione regularmente los filtros.*
- *Los tanques pulmón dimensionen para un volumen de aire en litros entre 6 y 10 veces el caudal de los compresores en litros/segundo.*
- *Asegúrese que los depósitos están bien drenados y con la válvula cerrada cuando no se usa. Prefiera un drenaje automático.*
- *Evite y controle usos indebidos del aire comprimido: Ej. lim-*

pieza, agitación, transporte de productos por medio de cintas transportadoras sean curvas o rectas.

- Evite y repare las fugas. Cuide fugas en: filtros, válvulas, empalmes de conexiones, empaquetaduras, juntas, bridas, abrazaderas de mangueras, tuberías viejas y oxidadas, conexiones rápidas, otras. Refiérase figura 36 para flujos de aire por fugas.

Observe la figura 37 sobre el costo de las fugas en sistemas de aire comprimido. La presión para el ejemplo es de 87 psi aprox. y el costo de la energía es de 0,10\$/kwh.

| Diámetro del agujero | Consumo de aire a 6 bar (g) m <sup>3</sup> /min | Pérdidas kW |
|----------------------|---|-------------|
| 1 mm                 | 0.065   | 0.3         |
| 2 mm                 | 0.240   | 1.7         |
| 4 mm                 | 0.980   | 6.5         |
| 6 mm                 | 2.120   | 12.0        |

\*Costos de electricidad: \$0,10 USD/kWh  
Horas de servicio: 8000 h/año  
No incluye kVA o cargos de servicios fijos



Figura 36. Pérdidas por orificios, OLADE

ÁREA: SALA DE MÁQUINAS

UBICACIÓN: Tanque pulmón de distribución principal

DESCRIPCIÓN: Fuga permanente en tanque pulmón

|             |            |             |                       |
|-------------|------------|-------------|-----------------------|
| Diám. Fuga: | 4mm        | Flujo aire: | 61 m <sup>3</sup> /hr |
| Presión:    | 5,94 bares | Energía:    | 36578 Kwh/año         |
| Operación:  | 6000 horas | Costo:      | 3657,8 USD/año        |



Figura 37. Cálculo pérdidas fugas, OLADE

## 4.2.5 Ponga atención a la temperatura del aire de admisión

### ¿Qué hacer?

- La temperatura del aire de admisión debe ser lo más baja posible. La toma de aire debe estar alejada de fuentes de calor y de zonas bajas. Un incremento en la T de aspiración de 3°C representa, aproximadamente, 1 % más de consumo de potencia en el compresor.
- Cuide que la tubería de aspiración sea recta y lo más amplia posible, puesto que una caída de presión en la succión de tan solo 25 milibares implicará un consumo de energía adicional del 2%.

# 5. Sistemas de iluminación

**N**ormalmente, al no ser la iluminación un consumidor significativo al interior de la industria, poco o ningún interés recibe este sistema. No obstante hay recomendaciones de gestión que pueden brindar ahorros energéticos interesantes con inversiones bajas o nulas.



Figura 38. Área de Iluminación

## 5.1 Oportunidades de ahorro energético

### ¿Qué hacer?

- *Aproveche la iluminación natural tanto como pueda.*
- *Coloque pantallas para atenuar y reducir el impacto directo de la luz natural*
- *Pinte paredes y techos internos con colores claros, favoreciendo la reflexión de la luz.*
- *Programe tareas de mantenimiento y sustitución para los tragaluces que se deterioran y ensucian reduciendo visiblemente su funcionalidad*

**L**as opciones se enfocan a la optimización en el consumo y uso del sistema actual que dispone la planta y luego pensar en cambios tecnológicos.

La instalación de tragaluces en la cubierta suele ser una alternativa, siempre que no genere calor en las áreas de trabajo, deslumbramiento cuando la luz natural incide directamente en el campo visual del trabajador, o genere molestias al reflejarse sobre las superficies de tra-

bajo. Planifique tareas de mantenimiento orientadas al conjunto lámpara – luminaria.

- *Planifique la sustitución de las lámparas. Estas al igual que cualquier equipo tienen una vida útil que no necesariamente coincide con su fallo. Evite cambiarlas sólo cuando se dañan. Recuerde que la lámpara pierde su eficacia a medida que pasa el tiempo, consumiendo igual cantidad de energía para una menor prestación: menos lúmenes por energía consumida.*
- *Retire de su sitio las lámparas fluorescentes que han dejado de funcionar y no han sido reemplazadas. Estas siguen consumiendo energía a través de su balastro.*
- *Preste atención a la luminaria: la eficiencia del sistema de iluminación depende de la calidad y del estado de la luminaria. Es normal encontrar luminarias sucias y deterioradas. El grado de reflexión, en este caso, será menor llegando menos lúmenes al puesto de trabajo con iguales consumos energéticos.*

### Exigencias laborales y normativas

- *Prefiera iluminación localizada en puntos de requerimientos mayores y distintos al resto de puestos de trabajo. Se recomienda tener iluminación general con niveles bajos e iluminación localizada para los requerimientos más altos.*
- *En ambientes laborales en donde es importante la distinción de colores no use lámparas de sodio a baja presión puesto que tienen pobre rendimiento en color, que no es sino la capacidad de reproducir los colores.*
- *Cumpla con la Normativa Ecuatoriana vigente, el Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo, Acuerdo 2393, que establece límites mínimos de iluminación, expresados en lux, para distintas tareas o actividades laborales.*
- *Considere las implicaciones ambientales en la disposición final del producto cuando este llega a su vida útil. Las lámparas de mercurio, de sodio y los tubos fluorescentes son considerados como residuos peligrosos y necesitan un manejo y disposición final apropiados.*

## Incorpore tecnología

- *Incorpore controles de ocupación al sistema de iluminación de áreas que no son frecuentadas en forma permanente: bodegas, pasillos, áreas externas, otros.*
- *Prefiera el uso de lámparas e iluminarias eficientes. El rendimiento de la lámpara se expresa en términos de lúmenes por vatio. Las mejores tecnologías disponibles para uso industrial empiezan con las lámparas LED seguido de lámparas de sodio a baja presión, sodio alta presión, vapor de mercurio. Una lámpara LED alcanza rendimientos en el orden de 150 lúmenes/vatio, en tanto que una de sodio a alta presión está en 85.*

En la actualidad se encuentra en el mercado disponible sistemas de iluminación para uso industrial que incorporan tecnología LED (light emitting diode). Se trata de un dispositivo electrónico semiconductor que emite luz cuando se le aplica una tensión eléctrica. El uso de nuevas o mejores tecnologías, suelen aplicarse, luego del análisis técnico – económico, y cuando se necesita sustituir una lámpara que falla.

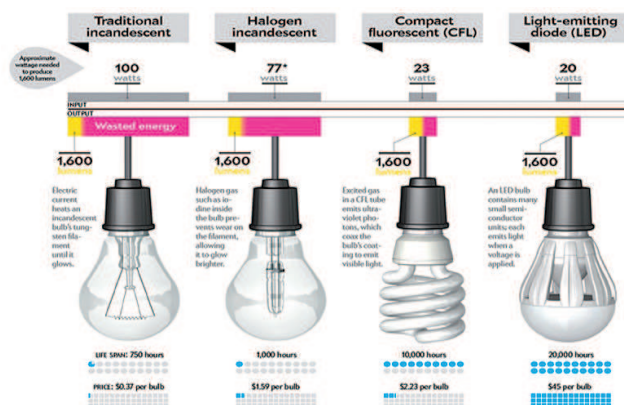


Figura 39 Evolución tecnología en iluminación





# 7. Sistemas de gestión de energía normalizados

**L**a mayoría de empresas han venido haciendo eficiencia energética, identificando medidas para reducir costos energéticos, ejecutando auditorías energéticas que derivan en planes de acción. No obstante, una vez concluidos estos proyectos, no necesariamente se monitorean sus resultados ni se toman medidas preventivas para mejorar o mantenerlos en el tiempo.

La diferencia sustancial de los sistemas de gestión de energía, SGE, con estas iniciativas es que permiten a la empresa adoptar un enfoque sistemático de gestión basado en el ciclo de mejora continua: planificar, hacer, verificar y actuar. En este resumen breve se dará algunas pautas sobre la implementación de un SGE normalizado compatible con la norma ISO 50001.

## 7.1 Primeros pasos

### 7.1.1 Autoevaluación energética

**P**ara comenzar se necesita conocer como la empresa está gestionando su energía para identificar cuáles serán las prioridades el momento que decida implementar un SGE. Respuestas a las siguientes preguntas pueden mostrarle hacia dónde dirigirse.



### ¿Qué preguntar?

- *Conoce la administración que existen medidas de ahorro energético que no requieren inversión para implementarse.*
- *La alta dirección cuenta con alguna política de gestión de la energía que ha sido concientizada a nivel de la organización y que le permita dirigir sus acciones.*
- *Se han definido responsables, roles y autoridad para el personal que tiene influencia en el uso de la energía.*
- *Se han identificado cuáles son los usos y energéticos más significativos.*
- *Se ha levantado una línea base de desempeño energético que permita ir midiendo los resultados en el futuro.*
- *Se tienen objetivos claros y metas cuantificables identificados y documentados.*
- *Hay planes de acción claros con identificación de responsables, plazos, recursos necesarios y se sabe cómo se hará el seguimiento y monitoreo de los resultados.*

## 7.1.2 Compromiso real de la alta dirección

**A**l igual que cualquier otro proyecto en la empresa, sin el compromiso real de la alta dirección la implementación del SGE no será viable. Para esto la alta dirección hace un compromiso para:

- *Delegar autoridad,*
- *Canalizar recursos económicos y de personal con las debidas autorizaciones para cumplir con nuevos roles*
- *Comunicar la importancia de la gestión energética dentro de la organización*
- *Conducir revisiones del sistema, entre otros.*

### 7.1.2.1 Elabore un estudio de caso

**P**ara mejorar aún más este compromiso de la alta dirección, se recomienda elaborar un estudio de caso de la realidad de la

empresa en términos energéticos. Esto puede ayudar también en su momento para redactar y aprobar la política energética de la empresa.

**¿Qué Incluir en el estudio?**

- *Determinación de consumos y costos por tipo de energético.*
- *Producción y tendencias.*
- *Consumos de energía de empresas similares (benchmarking).*
- *Estimación del potencial de mejora en la eficiencia energética, potenciales de ahorro, mejora en la rentabilidad de la empresa.*
- *Estimación de recursos humanos, técnicos y financieros para la implementación del sistema.*

Una vez concluido debería presentarse a la gerencia o alta dirección de la organización para su aprobación, remarcando que se trata de un cambio sustancial en la administración y gestión de los procesos y no sólo de un proyecto de orden estrictamente técnico.

## 7.1.3 Determinación de alcance y límites

**A**lgunas organizaciones deciden “probar” los SGE, iniciando con la implementación en solo una parte de la empresa y excluir otras. Ejemplo, sólo el área de pasteurización, empaque, sólo electrici-

dad, etc. Algunas empresas, optan por incluir el tema del manejo del agua dentro de este sistema que aplica muy bien.

Una vez definido el alcance y límites al SGE, éste debe estar documentado.

## 7.1.4 Designación del representante de la dirección

**L**a designación del representante de la dirección es fundamental para el éxito de la implementación. Es el responsable de la creación, de la implementación y la mejora del sistema. Debe contar con la delegación formal y con los recursos necesarios para cumplir con su rol. Es el responsable de reportar las novedades del SGE, el desempeño energético de la

organización, formación del equipo energético de apoyo y planificación de las actividades del sistema.

Algunas habilidades a considerar el momento de hacer la designación:

**Liderazgo, facilidad de comunicación, manejo de equipos, experiencia en administración de proyectos, conocimientos en costos energéticos, familiarizado con los procesos y sistemas energéticos, otros.**

### 7.1.4.1 Roles responsabilidad y autoridad

**L**a implementación se viabiliza con el compromiso del personal a todo nivel de la organización.

Se asignan roles, responsabilidad y autoridad para cada puesto de la empresa que será considerado en la implementación del SGE.

### 7.1.5 Establecimiento del grupo de energía

**D**ependiendo del tamaño de la empresa, se conforma un grupo de energía proveniente de distintas áreas y que trabajarán con un objetivo común. Esto mostrará el primer cambio cultural en la organización. El grupo puede incluir:

- Representante de la dirección,
- Producción y mantenimiento

- Sistemas de calidad, ambiente, seguridad
- Personal, finanzas, otros

*Un equipo es un conjunto de individuos trabajando para un mismo propósito. Cada uno ayudando al otro para alcanzar el objetivo común.*

### 7.1.6 Definición de la política energética

**E**sta política es el enunciado del compromiso de la alta dirección y la base para cualquier SGE. Deberá ser apropiada al tamaño y naturaleza de la organización, necesita revisarse periódicamente para garantizar su pertinencia y ser comunicada a todo el personal incluido a los contratistas externos a la empresa.

Algunas referencias necesitan estar expresadas en la política:

*Compromiso a la mejora continua del desempeño energético, a la entrega de recursos para la consecución de las metas y objetivos, al cumplimiento legal, compromisos en la compra de productos y servicios eficientes en términos factibles, entre otros.*

## 7.1.7 Generando la estructura para construir el SGE

**S**e necesita planificar y gestionar el proyecto de implementación. Evitando crear estructuras complejas de inicio y haciéndolo tan simple como sea posible. Es preferible que con la experiencia se vayan incorporando complejidades.

*Recuerde que el SGE no es un fin en sí mismo, sino un proceso de mejora continua*

## 7.1.8 Creando conciencia organizacional

**A**lgunas empresas incorporan talleres de sensibilización para todos los empleados para mostrar el compromiso hacia la mejora del desempeño energético.

## 7.2 Rol en la Comunicación, documentos y registros

**S**e tiende a pensar que los sistemas de gestión involucran demasiados documentos y procesos engorrosos y que es suficiente con los que la empresa ya tiene.

Sin embargo el éxito del SGE está en que algunos ítems deben ser documentados. La cantidad y el alcance puede variar de empresa a empresa, sin embargo, algunos, de los más importantes suelen ser:

- *La política, la revisión energética, Copias de auditorías energéticas o reporte de evaluaciones.*
- *Objetivos, metas y planes de acción.*
- *Planes de entrenamiento.*
- *Lista de parámetros críticos de operación.*
- *Registros de los operadores, especificaciones técnicas de los equipos*
- *Línea base, Indicadores de desempeño*
- *Diagrama de flujo de proceso, energéticos, otros*

Esto parecería mucho papeleo y burocrático, no obstante, será extremadamente útil para la empresa para mejorar su desempeño energético y mantenerlo. Una vez estructurado el sistema será más fácil mantenerlo.

## 7.2.1 Control de documentos

**M**antener control sobre la generación y uso de los documentos, evitando la utilización de documentos caducados o no pertinentes. Deben estar al alcance de quienes lo necesitan, mantenerse legibles.

## 7.2.2 Control de registros

**L**egibles por obvias razones, identificables y de fácil ubicación.

## 7.3 Planeación / plasmando el compromiso de la dirección y política energética en objetivos, metas y planes de acción

**L**a planeación es clave para un lugar al SGE, es clave para conocer cuánta energía, dónde se está consumiendo y con qué fin.

El objetivo de esta etapa es analizar en forma sistemática cómo se viene usando la energía, determinar ¿cómo se va a medir las mejoras de rendimiento? e identificar las oportunidades para reducir este uso a través de una combinación de mejoras de mantenimiento, proyectos técnicos, capacitación y otros medios, enfocándose en los usos significativos y las mejores oportunidades. En esta fase, conocida también como la revisión ener-

gética, se define también una línea base e indicadores sobre los cuales se medirán los progresos contra los objetivos y metas.

***Otra forma de resumir la planeación es indicar que es la fase que trata de aterrizar la política energética en un conjunto de acciones específicas a implementarse en un periodo de tiempo a fin de mejorar el desempeño energético.***

En la Planeación se cumplen varias acciones como:

### 7.3.1 Adquisición y análisis de la información

**S**e trata de establecer en términos generales el uso de la energía y su tendencia, en función de la información histórica de preferencia de tres años atrás.

Es útil expresar los consumos anualizados, es decir valores de consumo para periodos de 12 meses, visualizando la tendencia promedio anual y permitiendo establecer consumos y presupuestos futuros.



## 7.3.2 Determinación de los usos significativos de energía,

**E**sto es, los consumidores más importantes por tipo de energético (equipos, procesos o sistemas), con el propósito de que poner el mayor esfuerzo en estos usuarios. Una herramienta útil el momento de elegir los usuarios significativos, USE, es la aplicar Pareto: el 20% de los equipos que son responsables por el 80% del consumo de energía. También son considerados como USE, aquellos usos con potenciales importantes de ahorro de energía. Para esto necesita tener información, si no existe medición en primera instancia utilice datos de placa, las horas de operación, mediciones puntuales como voltaje, amperaje, otros; con el fin de desagregar el consumo global en consumos por áreas o procesos.

Para cada USE's, se debe determinar información importante como:

- *Variable significativa que influencia en el consumo de energía*
- *Personal que influye en su operación, mantenimiento e identificación de sus competencia técnicas.*
- *Parámetros de operación crítica*
- *Línea base, indicadores de desempeño*
- *Identificación de oportunidades para reducir consumos energéticos*
- *Establecimiento de objetivos, metas*

## 7.3.3 Establecimiento de línea base e indicadores de desempeño

**C**uyo objetivo es determinar el punto de comparación para evaluar las mejoras futuras. Se usa el consumo de energía, normalmente asociada a la producción. Para los

datos históricos, la línea base es la línea recta que mejor factor de correlación presenta y que se traza sobre el promedio de los puntos (energía /producción).

## 7.3.4 Identificación de requisitos legales y otros requerimientos

Asociados a la actividad de la empresa, sean estos locales, nacionales, corporativos, de los clientes u otros que la organización decida cumplirlos. Ejemplos:

pliego tarifario, regulaciones ambientales, factor de potencia, otros. Estos requerimientos deberían revisarse periódicamente (por ejemplo cada seis meses).

### 7.3.5 Identificación de oportunidades de mejora o ideas,

**A** sociadas a cada uso significativo. Las fuentes de oportunidades pueden ser evaluaciones energéticas previas, listas de control y chequeo, sugerencias de los operadores de los sistemas o equipos, manuales del fabricante, información técnica, entre otras.

### 7.3.6 Identificando al personal que tiene o puede tener impacto significativo en los USE's

**P** ara identificar su nivel de entrenamiento y competencias para asegurar que ellos conocen su rol y grado de influencia en el consumo de energía de los equipos que opera o hace mantenimiento. Esto incluye a la gente de producción y a los contratistas que hacen mantenimiento, si es el caso. De aquí se generarán planes de entrenamiento.

### 7.3.7 Establecimiento de objetivos y metas

**Q** ue vienen como consecuencia de todo el análisis previo. Los objetivos son de largo alcance y no tan específicos como las metas. Así, por ejemplo, un objetivo puede ser reducir el consumo de electricidad en el área de cocción; y la meta, reducir el 2% del consumo eléctrico hasta finales del 2014. Las metas deben ser: específicas, medibles, alcanzables, relevantes (en qué forma contribuye a la consecución de un objetivo), temporizada (en qué tiempo será alcanzada).

### 7.3.8 Desarrollo de planes de acción

**C** on las metas definidas, se pasa a la determinación de los planes de acción que incluirán, los responsables, el plazo de ejecución, los recursos necesarios, el seguimiento y la forma como se comprobará luego los resultados previstos.

## 7.4 Operación del día a día control operacional

**S**e necesita definir las actividades y acciones del día a día para garantizar la mejora del desempeño. Es la parte clave del SGE en donde se mostrará los ahorros actuales y las mejoras que se van implementando.

### 7.4.1 Control Operacional

La adquisición de un equipo de alta eficiencia no necesariamente garantiza que su operación será también eficiente, puesto que existe influencia de factores externos que pueden alterar su consumo energético. Los motores, calderos, compresores, sistemas de refrigeración, hornos de calentamiento y otros equipos pueden estar consumiendo más energía de la que necesitan.

**Operación:** Los parámetros críticos de operación definidos en la fase de planeación para cada USE's deben ser comunicados, conocidos y respetados por el personal que opera y mantiene esos

usos (en general por el personal clave). El comportamiento de los parámetros de control que afectan el consumo de energía debe estar debidamente registrado para su análisis por una persona competente.

**Parámetros de Mantenimiento,** aquellos que afectan directamente el consumo de energía, así por ejemplo, el estado de limpieza y la frecuencia de cambio de filtros de un compresor, o el estado del aislamiento de un horno eléctrico, el desbalance de tensión en el sistema de alimentación de un motor eléctrico principal, entre otros.

### 7.4.2 Asegurando la competencia y conciencia del personal

Principalmente el personal interno o externo que tiene influencia directa sobre el consumo de energía de los USE's, debe estar seguro que conoce su rol, funciones, responsabilidades y autoridad en el sistema.

**Conciencia:** regularmente comparta con el personal los logros que se vienen

alcanzando con el sistema y la manera como ellos están aportando.

**Entrenamiento:** todos los empleados que trabajan en los USE's deben estar entrenados en los procedimientos de operación o prácticas que afectan al desempeño de su trabajo, particularmente

en aquellos que impactan el desempeño energético.

**Competencia:** es decir, todo el personal clave debe ser capaz de realizar su trabajo basado en su educación, entre-

namiento, habilidades y experiencia. La administración de la empresa debe estar convencido que su personal es competente, así como lo son los contratista externos, si los hay.

### 7.4.3 Implementación de los planes de acción

Parte de la operación del día a día del SGGE es asegurar que los planes de acción se vienen cumpliendo, las mejoras se van alcanzando conforme a lo esta-

blecido. Un seguimiento constante, evitará retrasos y permitirá actuar en forma oportuna para corregir.

### 7.4.4 Diseño

Siempre será mejor y más barato diseñar sistemas e instalaciones con un buen desempeño energético desde su inicio que pensar en arreglos, adecuaciones o actualizaciones de los equipos o siste-

mas. No está en elegir las últimas tecnologías para ahorrar energía, hay mucho en las especificaciones y en el dimensionamiento apropiados.

### 7.4.5 Defina especificaciones de compra para servicios y bienes

Aunque finalmente, en el proceso de ponderación no tenga prioridad la eficiencia energética, considere estos aspectos el momento de seleccionar un servicio, un

repuesto de uso frecuente. Tómese tiempo para hacer un análisis del ciclo de vida del producto a comprar y considere el gasto operativo en ese tiempo.

## 7.5 Determine si el sistema está funcionando

**O**tro aspecto clave del SGE es determinar si se está mejorando el desempeño energético y si se están logrando ahorros energéticos. Para esto es clave:

- *Monitoreo, medición y análisis del desempeño*
- *Calibración de instrumentos*
- *Evaluación del cumplimiento legal*
- *Auditorías internas: no conformidades, acciones correctivas y preventivas*



## 7.6 Procedimiento de mejora continua

**A**ctuando para dar soporte al sistema y su mejora. Para esto, serán importantes las Revisiones por dirección, que normalmente se planifican hacerlas en forma anual.

Los resultados de esta revisión por la dirección será el punto de partida para el siguiente año y así el sistema entrará nuevamente en la fase de planeación como inicio del ciclo de mejora continua.

# 8. Aplicación de la Gestión Energética a los motores eléctricos

**T**res aspectos son importantes considerar para hacer gestión energética a los motores eléctricos:

- *Gestión de la eficiencia del motor*
- *Gestión de la productividad del siste-*

*ma al cual está incorporado el motor*

- *Gestión de mantenimiento*

Estos tres aspectos necesitan ser evaluados para determinar la línea base así como monitoreados para verificar el nivel de mejora logrado.

## 8.1 Gestión de la Eficiencia

**P**ara esto es necesario, determinar, monitorear y dar seguimiento al comportamiento de la medición de los siguientes parámetros:

- *Diferencia del voltaje de alimentación con relación al voltaje nominal*

- *Desbalance en el sistema de alimentación*
- *Potencia eléctrica demanda*
- *Eficiencia del motor*

Los tres primeros ítems se consiguen a través de las mediciones de calidad de energía.

## 8.2 Gestión de la productividad

**D**e igual forma, esto se consigue a través de la determinación, monitoreo y seguimiento al comportamiento de la medición de los siguientes parámetros:

- *Consumo de energía por ciclo o unidad de tiempo*
- *Producción del sistema por ciclo o unidad de tiempo (para iguales condiciones usadas en la medición del consumo de energía)*
- *Indicador de desempeño, Kwh/ unidad producida*

## 8.3 Gestión del Mantenimiento

**E**sto se consigue a través de la determinación, monitoreo y seguimiento al comportamiento de la medición de los siguientes parámetros:

- *Corriente demanda por fase*
- *Temperatura del motor y de los rodamientos*
- *Análisis de vibraciones*
- *Temperatura de los sistemas de transmisión*

Se deberán establecerse los criterios de operación y de mantenimiento dentro de los cuales es aceptable la operación eficiente del motor, determinar los formatos

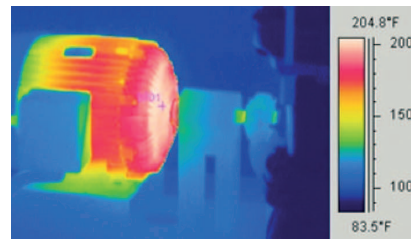


Figura 40. Termografía de un motor de inducción

para los registros y su periodicidad, así como el análisis, la revisión de los mismos y los responsables.

El personal clave para este usuario, deberá ser competente para la medición e interpretación de los parámetros indicados, así como estar familiarizado con los mismos.

# 9. Fuentes de información bibliográfica

- *Manual de Eficiencia Energética para la Industria*, AF EnergiKonsult AB, Estocolmo, Suecia.
- *Manual de Ahorro de Energía en la Industria*, Interconexión Eléctrica S.A. y la Asociación Nacional de Industriales, ANDI. España 1973
- *The Effect of Repair/Rewinding on motor efficiency. EASA/AEMT Rewind Study and Good Practice Guide to Maintain Motor Efficiency*, Electrical Apparatus Service Association Inc.(EASA); Association Electrical and Mechanical Trades (AEMT), 2003. [www.easa.com](http://www.easa.com)
- *Eficiencia Energética en Motores Eléctricos*, Ramón Rosas Moya, OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), 2013
- *Guía Técnica No. 6: Guide to harmonics to with AC drives*. ABB, 2013
- *Eficiencia Energética en Motores Eléctricos*. Universidad Autónoma de Occidente, Universidad del Atlántico, Colciencias Colombia
- *Proper selection of passive and active power quality filters for the mitigation of mains harmonics*, Andrzej Pietkiewicz PhD y Stefan Melly. Schaffner, 2008
- *Taller sobre Optimización de Sistemas Motrices*, ONUDI (Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), Anibal de Almeida PhD, Hugh Falkner, 2013.
- *Energy Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program, and Policy Opportunities*, Second Edition. Steven Nadel, R. Neal Elliot, Michael Shepard, Steve Greenberg, Gail Katz and Anibal T. de Almeida, 2002

# 10. ANEXOS

## Anexo 1

### Tipo de perturbaciones en la red

Los cuadros muestran el origen, las consecuencias y algunos ejemplos de soluciones posibles para atenuar las perturbaciones.

| Perturbaciones  | Huecos de tensión | sobretensión | armónicos | desequilibrios | Fluctuaciones de tensión |
|---|-------------------|--------------|-----------|----------------|--------------------------|
| Ondas características                                   |                   |              |           |                |                          |
| Origen de la perturbación                               |                   |              |           |                |                          |
| Sistema de energía                                      |                   |              |           |                |                          |
| Falla del aislamiento, desperfecto del conductor neutro |                   |              |           |                |                          |
| Conmutación, ferresonancia                              |                   |              |           |                |                          |
| Iluminación   |                   |              |           |                |                          |
| Equipos   |                   |              |           |                |                          |
| Motor asíncrono   |                   |              |           |                |                          |
| Motor síncrono  |                   |              |           |                |                          |
| Máquina soldadora                                       |                   |              |           |                |                          |
| Horno de arco   |                   |              |           |                |                          |
| Convertor   |                   |              |           |                |                          |
| Cargas de procesamiento de datos                        |                   |              |           |                |                          |
| Iluminación   |                   |              |           |                |                          |
| Inversores  |                   |              |           |                |                          |
| Banco de condensadores                                  |                   |              |           |                |                          |

: Fenómeno ocasional
  : Fenómeno frecuente

| Tipo de perturbación                      | Origen   | Consecuencias  | Ejemplos de soluciones (equipo especial y modificaciones)  |
|---|--|--|--|
| Variaciones y fluctuaciones de la tensión | Variaciones de carga grandes (máquinas soldadoras, hornos de arco, etc.).  | Fluctuación de la luminosidad de las lámparas.   | Compensadores de frecuencia reactiva electromecánica, compensadores reactivos de tiempo real, acondicionadores eléctricos por fase, cambiadores de tomas.  |
| Huecos de tensión                         | Corto circuitos, conexión de cargas grandes (arranque de motores, etc.).   | Perturbación de los procesos de apagado: pérdida de datos, datos incorrectos, apertura de contactores, bloqueo de accionadores, desaceleración o entrada en pérdida de motores, apagado de lámparas de descarga. | SAL, compensadores reactivos de tiempo real, reguladores de tensión electrónicos dinámicos, arrancadores suaves. Aumentar la potencia de cortocircuito (capacidad). Modificar la discriminación de los dispositivos de protección. |
| Interrupciones                            | Corto circuitos, sobrecargas, mantenimiento, disparos no deseados.   |  | SAL, transferencia de fuente mecánica, conmutador de transferencia estática, ajuste a tiempo cero, disyuntor shunt, gestión remota.  |
| Armónicos                                 | Cargas no lineales (variadores de velocidad, hornos de arco, soldadoras, lámparas de descarga, tubos fluorescentes, etc.). | Sobrecarga (de conductores neutros, fuentes, etc.), disparos no deseados, envejecimiento acelerado, degradación de la eficiencia energética, pérdida de productividad.   | Cebador antiarmónicos, filtros pasivos o activos, filtros híbridos, cebador de línea. Aumentar la capacidad de cortocircuito. Limitar las cargas contaminantes. Derratear el equipo.   |
| Interarmónicos                            | Cargas fluctuantes (hornos de arco, máquinas soldadoras, etc.), inversores de frecuencia.                                  | Interrupción de las señales de medición, fluctuación de la luminosidad de lámparas.  | Reactancia por fase.   |
| Transientes de sobretensión               | Funcionamiento de equipos de modulación y condensadores, iluminación.  | Bloqueo de accionadores, disparos no deseados, destrucción de equipos de modulación, incendios, pérdidas operativas.   | Descargador de sobretensión, autoválvulas, modulación controlada, resistores de preinserción, cebadores de línea, compensadores automáticos estáticos.   |
| Desequilibrio de tensión                  | Cargas desequilibradas (cargas monofásicas grandes, etc.).   | Par de motor inverso (vibración) y sobrecalentamiento de las máquinas asíncronas   | Equilibrar las cargas. Compensador electrónico shunt, regulador de tensión electrónico dinámico. Aumentar la capacidad de cortocircuito.   |



## Anexo 2

### Estimación de la carga y Eficiencia del motor

#### 1. Cómo estimar el factor de carga de un motor

Para esto se usará los datos de placa del motor (nominales) y mediciones de campo.

|  |             |
|--|-------------|
| · Potencia: 45 KW (potencia mecánica que entrega el motor) |             |
| · Corriente:   | 60 amperios |
| · Voltaje:   | 220 voltios |
| Eficiencia placa:  | 92%         |
| Velocidad:   | 1750 rpm    |

#### Mediciones

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| · Velocidad medida:                  | 1775 rpm    |
| · Corriente de entrada:              | 35 amperios |
| · Tensión en los bornes: 215 voltios |             |
| · Potencia de entrada:               | 28 kw       |

#### Cálculos:

##### i. A partir de la potencia de entrada

$$\begin{aligned} \text{Potencia nominal de eléctrica} &= \\ 45 \text{ kw} / 0,92 &= 48,9 \text{ kw} \\ \text{Carga del motor} &= 28 \text{ kw} / 48,9 \\ &= 0,572 \end{aligned}$$

**A tomar en cuenta:** el método se afectado cuando el factor de carga es menor al 40%, por que la eficiencia varía significativamente para ese valor. Por otro lado, habrá que considerar si el motor ha sido o no rebobinado, en razón del dato de eficiencia de placa ya que no será la misma como se ha mencionado en la guía.

##### j. A partir de la medición de velocidad

$$\begin{aligned} \% \text{ de carga} &= \frac{V_{\text{medida}} \times I_{\text{medida}}}{V_{\text{nominal}} \times I_{\text{nominal}}} \\ \% \text{ de carga} &= \frac{215 \times 35}{220 \times 60} \times 100 = 57\% \end{aligned}$$

**A tomar en cuenta:** el método arroja errores grandes para factores de carga inferiores al 50%, porque el factor de potencia disminuye.

##### k. A partir de la medición de velocidad

Velocidad síncrona (S sincr):  $60 \times 60/2 = 1800 \text{ rpm}$   
Deslizamiento:  $1800 - 1775 \text{ rpm} = 25 \text{ rpm}$

$$\begin{aligned} \text{carga \%} &= \frac{\text{Deslizamiento}}{S_{\text{síncro-Placa}} \times \left(\frac{V_{\text{nom}}}{V_{\text{medida}}}\right)^2} \times 100 \\ \text{carga \%} &= \frac{25}{(1800-1750) \times (220/215)^2} \times 100 = 47,7\% \end{aligned}$$

A tomar en cuenta: el método arroja grandes errores para motores de gran tamaño, por su bajo deslizamiento. Hay que cuidar la exactitud en el equipo empleado así como la medición misma de la velocidad, porque se puede introducir errores.

#### 2. Estimación de la eficiencia del motor en campo

Para evaluar la conveniencia de reemplazo de un motor antiguo o la compra de un nuevo estándar con un motor Premium o de alta eficiencia, se requiere contar la eficiencia el motor, equivalente al cociente entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Los métodos más comunes:

Contabilización de las pérdidas

Del deslizamiento

De la corriente

Herramientas informáticas de libre acceso

**El método de la contabilización** de pérdidas consiste en aplicar las reducciones o depreciación de la eficiencia para cada situación revisada: variación de la tensión, temperatura de operación y la reparación o rebobinado. Con esto se construye la curva de eficiencia depreciada.

**El método del deslizamiento** y el de la corriente se basan en las mismas expresiones usadas para la determinación del factor de carga y tienen las mismas limitaciones.

Así, aplicando el método de deslizamiento al caso del ejemplo tenemos:

$$\text{Potencia de salida} = \frac{\text{Deslizamiento}}{S_{\text{síncro-Placa}} \times \left(\frac{V_{\text{nom}}}{V_{\text{medida}}}\right)^2} \times P_{\text{nominal}}$$

$$\text{Potencia de salida} = 0,477 \times 45 \text{ kw} = 21,46 \text{ Kw}$$

$$\text{Eficiencia motor \%} = \frac{\text{Potencia salida}}{\text{Potencia medida de entrada}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia motor} = \frac{21,46 \text{ kw}}{28 \text{ kw}} = 76,6\%$$

Las Herramientas informáticas de uso público, como "Motormaster+" permiten determinar la carga del motor; utiliza datos de placa e información adicional como potencia, voltaje y corriente de entrada y velocidad de operación. Una vez obtenido el factor de carga, el software calcula la eficiencia del motor, fundamentándose en cuadros de información preestablecidos para distintos tipos de motores, potencias y condición de carga.