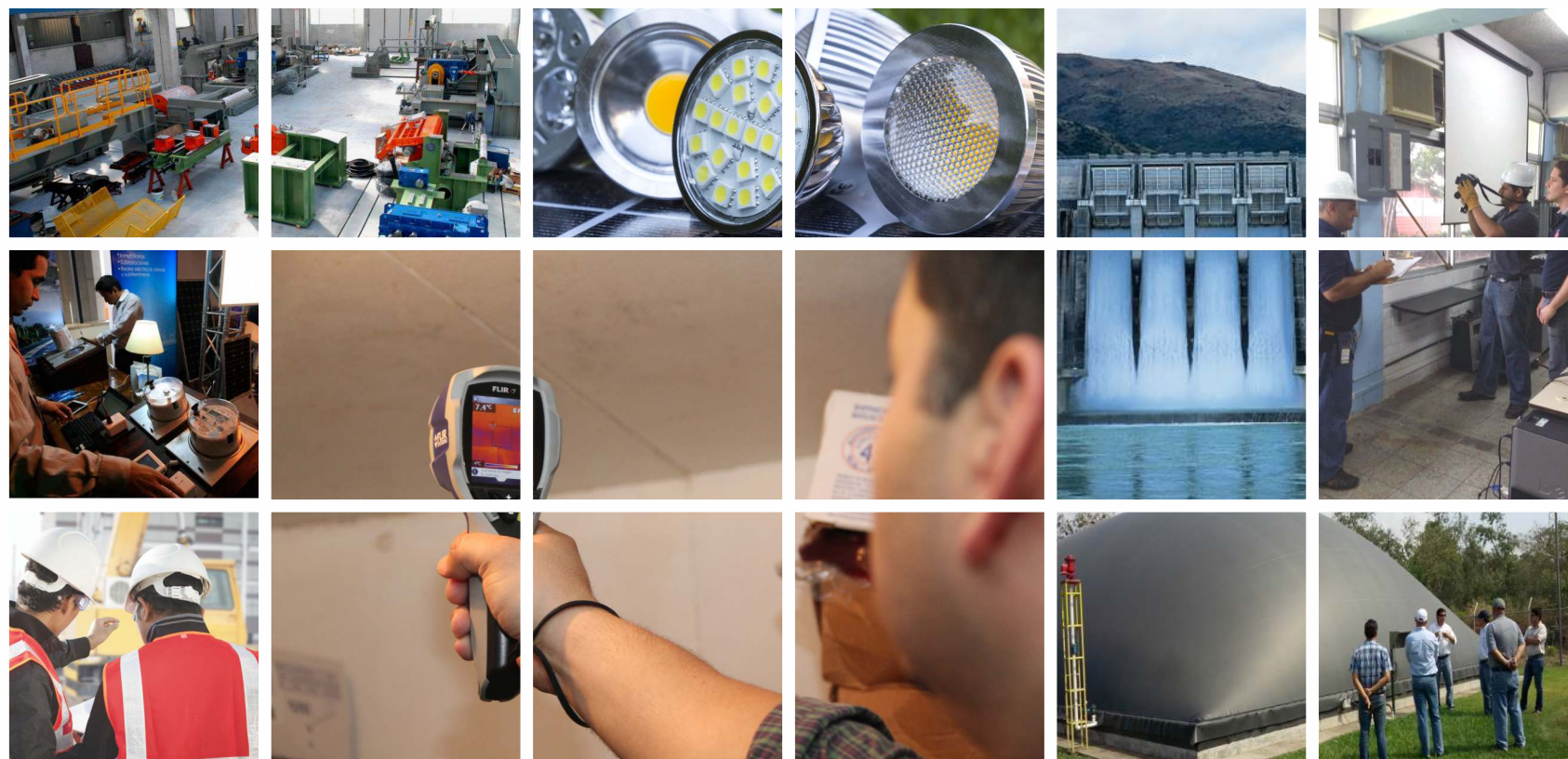




# MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Volumen I, electricidad.





Este manual fue realizado con el apoyo de la Iniciativa MIPYMES Verdes ejecutada por el BCIE para la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) de Honduras y adaptado para la región centroamericana por el Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en C.A. (Programa 4E) implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH





# MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Volumen I, electricidad.

---

**MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y  
EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.  
Volumen I, electricidad.**

**Coordinación General**

Fernando García | Presidente Ejecutivo ANDI  
Sergio Avilés | Coordinador/Unidad de Financiamiento para  
las Mayorías (FINAM) - BCIE

**Equipo Técnico**

Adriana Alvarez | Responsable Servicios Técnicos de ANDI  
Lynda García | Gestora de Proyectos Iniciativa MIPYMES  
Verdes - BCIE  
Pamela Baires | Gestor de Visibilidad de la Iniciativa MIPYMES  
Verdes - BCIE  
Osly Rodas | Coordinador Honduras Programa 4E  
Ramón Escalón | Asesor Técnico Programa 4E  
Karla Cerrato | Comunicaciones Programa 4E

**Autor**

Mario Rubén Zelaya

**Otros aportantes**

Equinsa Energy



Equipos Industriales



**Edición**

Programa 4E

**Diseño y Diagramación**

Flavio Suazo – Consultor Programa 4E

Impresión patrocinada para la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) por:

- Iniciativa MIPYMES Verdes, ejecutada por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE): 50 ejemplares.
- Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica (4E)-GIZ: 300 ejemplares.

Diciembre de 2015

® Reservados todos los derechos.

Prohibida su reproducción total o parcial con fines lucrativos, ajenos a los establecidos para el manejo del presente manual o sin autorización de los autores.

“La presente publicación ha sido elaborada con la asistencia financiera de la Unión Europea. El contenido de la misma en ningún caso debe considerarse que representa el punto de vista oficial de la Unión Europea, de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH” o del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE)”

# Contenido

|                                                             |           |                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCCIÓN                                                | 05        |                                                                           |           |
| <b>CAPÍTULO I</b>                                           | <b>07</b> | <b>CAPÍTULO III</b>                                                       | <b>25</b> |
| 1.1.- Aspectos Teóricos                                     | 07        | 3.1.- Eficiencia Energética en el Consumo de Energía Eléctrica            | 25        |
| 1.1.1.- Forma y fuentes de energía.                         | 07        | 3.1.1.- Sistemas de Iluminación                                           | 25        |
| 1.1.2.- Energía renovable.                                  | 08        | 3.1.1.1.- Conceptos Fundamentales de los Sistemas de Iluminación.         | 25        |
| 1.1.2.1.- Principales ventajas de la energía renovable      | 08        | 3.1.1.2.- Principales Tipos de Lámparas                                   | 27        |
| 1.1.3.- Eficiencia energética.                              | 09        | 3.1.1.2.1.- Incandescentes convencionales.                                | 27        |
| 1.1.4.- Sistemas eléctricos.                                | 09        | 3.1.1.2.2.- Halógenas.                                                    | 27        |
| 1.1.5.- Administración de la energía eléctrica.             | 11        | 3.1.1.2.3.- Fluorescentes lineales.                                       | 27        |
| 1.1.6.- Principales cargas en sistemas eléctricos.          | 11        | 3.1.1.2.4.- Lámparas fluorescentes compactas (LFC).                       | 28        |
| 1.1.6.1.- Motores eléctricos.                               | 11        | 3.1.1.2.5.- Diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés).       | 28        |
| 1.1.6.2.- Iluminación.                                      | 12        | 3.1.2.- ¿Por qué Utilizar Lámparas Eficientes?                            | 28        |
| 1.1.7.- Aspectos financieros.                               | 12        | 3.1.2.1.- Valoraciones y Ejemplos.                                        | 28        |
| 1.1.7.1.- El Objetivo financiero.                           | 12        | 3.2.- Eficiencia Energética En Motores Eléctricos                         | 32        |
| 1.1.7.2.- ¿Qué es invertir?                                 | 13        | 3.2.1.- Tipos y Aplicaciones                                              | 32        |
| 1.1.7.3.- ¿Qué es un proyecto de Inversión?                 | 13        | 3.2.1.1.- Principio de Funcionamiento                                     | 32        |
| 1.1.7.4.- Etapas de desarrollo de un Proyecto de Inversión. | 13        | 3.2.1.2.- Relación entre eficiencia y deslizamiento en motores.           | 33        |
| 1.1.7.4.1.- Identificación o formulación.                   | 13        | 3.2.1.3.- Sistemas de Fuerza.                                             | 33        |
| 1.1.7.4.2.- Factibilidad.                                   | 14        | 3.2.1.4.- Recomendaciones para mejorar el uso de motores eléctricos.      | 34        |
| 1.1.7.4.3.- Construcción o Ejecución.                       | 14        | 3.2.1.4.1.- Selección correcta de la potencia del motor.                  | 34        |
| 1.1.7.4.4.- Operación.                                      | 14        | 3.2.1.4.2.- Mejorar la calidad de la energía eléctrica de la instalación. | 34        |
| 1.1.7.4.5.- TIR y VAN.                                      | 15        | 3.2.1.4.3.- Reducir la carga mecánica sobre el motor.                     | 35        |
| 1.1.8.- Equipos de medición.                                | 16        | 3.2.1.4.4.- Usar motores eléctricos de alta eficiencia.                   | 36        |
| 1.1.8.1.- Cámaras termográficas.                            | 16        | 3.2.1.4.5.- Usar Variadores de Velocidad.                                 | 37        |
| 1.1.8.2.- Analizador de redes                               | 17        | 3.2.1.4.6.- Usar métodos de mantenimiento centrados en la eficiencia.     | 37        |
| 1.1.8.2.1.- Tipos de analizadores de redes.                 | 17        | 3.2.1.4.7.- Valoraciones y ejemplo.                                       | 38        |
| 1.1.8.2.2.- Ventajas en el uso de analizadores de redes.    | 18        | 3.3.1.- Transformadores.                                                  | 41        |
| 1.1.8.2.3.- Parámetros medidos en los analizadores de red   | 18        | 3.3.1.1.- Principio de Funcionamiento.                                    | 46        |
| 1.1.8.2.4.- Clasificación.                                  | 19        | 3.3.1.2.- Transformador Real.                                             | 47        |
| 1.1.8.3.- Luxómetros.                                       | 19        | 3.3.1.3.- Determinación de Pérdidas en el Núcleo.                         | 49        |
| 1.1.8.3.1.- Aplicaciones                                    | 19        | 3.3.1.4.- Clases de núcleos y evolución tecnológica                       | 49        |
|                                                             |           | 3.3.1.5.- Caída de tensión en un transformador.                           | 50        |
| <b>CAPÍTULO II</b>                                          | <b>21</b> | 3.3.1.6.- Eficiencia energética de los transformadores.                   | 50        |
| 2.1.- Contexto mundial                                      | 21        | 3.3.1.7.- Valoraciones y Ejemplo.                                         | 51        |
| 2.1.1.- Contexto económico-financiero.                      | 22        | 3.3.1.8.- Corrección del factor de potencia.                              | 53        |
| 2.1.2.- Matriz energética mundial.                          | 22        | 3.3.1.9.- Ventajas técnicas de la corrección del factor de potencia.      | 56        |
| 2.1.3.- Geopolítica de los recursos.                        | 23        | 3.3.1.9.1.- Uso optimizado de máquinas eléctricas                         | 56        |
| 2.2.- Contexto centroamericano.                             | 24        |                                                                           |           |

## Contenido

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1.9.2.- Uso optimizado de las líneas eléctricas.                   | 56 |
| 3.3.1.10.- Reducción de las pérdidas                                   | 56 |
| 3.3.1.11.- Reducción en la caída de tensión.                           | 56 |
| 3.3.1.12.- Eliminación de posibles multas por bajo factor de potencia. | 56 |
| 3.4.1.- Autoconsumo.                                                   | 56 |
| 3.4.1.1.- Sistemas aislados.                                           | 57 |
| 3.4.1.2.- Sistemas de conexión a red.                                  | 57 |
| 3.4.1.3.- Sistemas conmutados con la red.                              | 57 |
| 3.4.2.- Ventajas de los sistemas de autoconsumo.                       | 58 |
| 3.4.3.- Obstáculos del autoconsumo.                                    | 58 |
| 3.4.4.- Balance neto.                                                  | 59 |
| 3.4.4.1.- El balance neto en España.                                   | 60 |
| 3.4.4.2.- El "balance neto" en el resto del mundo.                     | 61 |
| 3.4.4.3.- El balance neto en Honduras.                                 | 61 |
| 3.4.5.- Valoraciones y Ejemplos.                                       | 61 |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV</b>                                                 | <b>63</b> |
| 4.1 Como realizar una auditoría energética                         | 63        |
| 4.1. 1- Ejemplo de auditoría energética                            | 63        |
| 4.1.1.1 Antecedentes:                                              | 63        |
| 4.1.1.2 Demanda de Energía e Identificación de Acciones a Realizar | 64        |
| 4.1.1.3 Recomendaciones Resultantes de la Auditoría Energética     | 65        |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO V</b>                     | <b>67</b> |
| 5.1.- Recomendaciones y Conclusiones. | 67        |
| 5.1.1.- Recomendaciones.              | 67        |
| 5.1.2.- Conclusiones.                 | 69        |
| Glosario                              | 70        |
| Bibliografía                          | 75        |

## Índice de Figuras y Tablas

### FIGURAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Montos de inversión, durante el 2013, en el sector energía             | 09 |
| Figura 2 Comportamiento de las pérdidas en el sistema eléctrico de Honduras.    | 10 |
| Figura 3. Motor Eléctrico Premium Efficiency IE3                                | 11 |
| Figura 4. Luminaria tipo LED                                                    | 12 |
| Figura 5. Relación incertidumbre-inversión en el ciclo del proyecto             | 14 |
| Figura 6. Cámara termográfica FLIR                                              | 16 |
| Figura 7. Analizador de redes Extech                                            | 17 |
| Figura 8. Luxómetro Extech                                                      | 19 |
| Figura 9. Perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria | 21 |
| Figura 10. Balance energético mundial                                           | 23 |
| Figura 11. Comportamiento del Sistema en Condiciones Nominales.                 | 38 |
| Figura 12. Comportamiento de la presión y las revoluciones del motor principal  | 39 |
| Figura 13 Circuito equivalente de un transformador.                             | 47 |
| Figura 14. Diagrama fasorial para un transformador real con y sin carga.        | 48 |
| Figura 15. Diagrama fasorial de un sistema eléctrico                            | 53 |
| Figura 16. Diagrama esquemático para el cálculo de factor de potencia.          | 55 |
| Figura 17. Diagrama esquemático de conexión de sistema solar para autoconsumo.  | 57 |
| Figura 18. Esquema de operación de la conexión a la red                         | 59 |
| Figura 19. Esquema de autoconsumo y balance neto                                | 60 |

### TABLAS.

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Necesidades de Iluminación en Áreas Específicas. | 29 |
| Tabla 2. Corrida Financiera de Iluminación                | 31 |
| Tabla 3. Corrida Financiera de Motores.                   | 40 |
| Tabla 4. Corrida Financiera de Transformadores.           | 52 |
| Tabla 5. Rango de Factor de Potencia en Algunos Equipos   | 54 |
| Tabla 6. Corrida Financiera de Autoconsumo.               | 62 |

# INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la eficiencia energética (EE) está jugando un papel fundamental en el comportamiento de los mercados relacionados con el consumo de energía eléctrica. Es de esta forma que la International Energy Agency (IEA) establece que el 2012, las inversiones de EE fueron superior a las hechas en energía renovable.

Por tal motivo, es también para economías como la hondureña, una gran oportunidad para disminuir el impacto económico y ambiental resultante del consumo y generación de energía eléctrica. Conforme a datos de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), gran parte del gasto operativo (63% al 2013), de esta empresa, es debido al elevado consumo de energía eléctrica proveniente de plantas a base de bunker.

Siendo así, consumir menos con el mismo nivel de producción se convierte en un camino muy atractivo para disminuir el impacto mencionado en el párrafo anterior. La EE, impacta de manera positiva, disminuyendo el consumo de energía eléctrica, pero, sin sacrificar la calidad de vida y los niveles de producción.

Desde aquí, el presente documento tiene como objetivo, introducir a los lectores en el tema de energía eléctrica y muy específicamente en los aspectos relacionados con las medidas de EE. Es decir, se limita a tratar de cómo se consume energía eléctrica y que se puede hacer para consumir menos.

Es importante mencionar que, la teoría aquí mencionada, se ha resumido considerablemente y que su estudio profundo es hecho en las universidades a nivel de pre, post y doctorado, por esto, solo se trata de brindar ideas generales que permitan comprender porque usar o no un tipo de terminales de equipo consumidor de energía eléctrica. Para el caso, se trabaja sobre el tema de corrección de factor de potencia sin introducir la totalidad de la teoría electromagnética, pero, se enseña la importancia y como calcular la corrección en este fenómeno.

Además, se espera que en un futuro próximo, se pueda tratar con más detalle cada uno de los temas aquí propuestos. En algunos casos, como en el análisis financiero, se han desarrollado importantes cursos para ampliar el conocimiento en este tema específico.

Finalmente, es importante resaltar el esfuerzo de la Asociación Nacional de Industriales de Honduras (ANDI) y del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) por medio de la Iniciativa MIPYMES Verdes, que cuenta con el financiamiento del Gobierno de Alemania y la Unión Europea para el tema de eficiencia energética en el consumo de energía eléctrica. Estas dos instituciones, han apoyado el desarrollo del presente documento.



## 1.1. Aspectos Teóricos

Antes de comenzar con situaciones específicas, como la teoría de transformadores eléctricos, se describirán aspectos teóricos generales. Entre estos se incluye los términos de energía y fuentes de energía; eficiencia energética; energía renovable, entre otros.

Es importante tal descripción inicial, de esta forma, se comienza teniendo una idea clara del tema energía y luego se centra en aspectos específicos de la energía eléctrica. Hay que recordar que los capítulos posteriores, describen áreas específicas en el consumo y generación de energía eléctrica.

### 1.1.1 Forma y fuentes de energía.

Es muy común, usar e interpretar los términos energía, forma y fuentes de energía como sinónimos. Por ejemplo, en muchas ocasiones, las personas usan el término energía para referirse a energía eléctrica, situación que no es aceptable.

Desde la perspectiva de la física, el término energía, se define como “La capacidad de realizar un trabajo”. Como se puede notar, este concepto necesita ser adaptado conforme a las aplicaciones en la realidad humana.

En el caso del consumo y generación de energía eléctrica, es posible usar los términos forma y fuente de energía. Para la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2011), una fuente de energía es todo elemento o producto, natural y artificial, del cual podemos obtener energía en cualquiera de sus formas o manifestaciones. En algunos casos es necesario transformarla para poder ser utilizada en diferentes aplicaciones.

Por ejemplo, la energía cinética y potencial relacionada con el uso del agua en proyectos hidroeléctricos es llamada energía hidroeléctrica. Luego, esta energía es usada en aplicaciones como la iluminación.

Desde la perspectiva de la forma de energía, existen términos comúnmente usados como: energía solar y energía eólica. Cuando se usan estos términos, se refiere a la energía proveniente de la irradiación solar y en el otro caso, a la energía cinética de las corrientes de aire.

Además de las definiciones de forma y fuente de energía, es posible diferenciar conforme a la fase de transformación de una fuente de energía a energía eléctrica.

Según la Escuela de Organización Industrial, 2008, en función de la fase de transformación en la que se encuentren las fuentes de energía se clasifican como:

- a) Primarias. Son aquellas que encuentran directamente en la naturaleza y no han sido sometidas a ningún proceso de transformación. Algunas requieren de procesos de transformación previos a su consumo (carbón, petróleo, gas natural, uranio) y otras no (sol, viento, embalses, biomasa). Las primeras constituyen el 94% del consumo mundial de fuentes de energía primaria. Es importante reseñar que, excepto en el caso del mineral de uranio, todas tienen un mismo origen: el Sol.

- b) Secundarias. Se denominan también vectores energéticos. Su misión es transportar y/o almacenar la energía, pero no se consumen directamente. El más importante es la energía eléctrica, a la que muchos expertos (organismos nacionales e internacionales) denominan también electricidad primaria. A partir de ella se obtiene energía mecánica y térmica. Otros vectores son el uranio enriquecido (materia prima para las centrales nucleares) y los carbones, una vez se han preparado para su explotación en las centrales térmicas.
- c) Finales. Son las que consumimos cada día en viviendas, industrias y transportes. Las principales son los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleos, keroseno, butano, propano,...), el gas natural y la energía eléctrica. A partir de ellas se extrae la energía en sus tres formas posibles: Energía luminosa, mecánica y térmica. Cada una de éstas, a su vez, es susceptible de convertirse en cualquiera de las otras dos.
- d) En función de su disponibilidad en la naturaleza (cantidad limitada o inagotables), se pueden clasificar entre no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y las renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa), respectivamente.

Como sucede en otras ocasiones, no existe la fuente de energía perfecta, todas presentan sus ventajas e inconvenientes. Así por ejemplo, el petróleo tiene muy alto contenido energético, pero, su impacto a la naturaleza es considerablemente elevado; de hecho, más del 60% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> provienen del de combustibles fósiles.

En el lado contrario se encuentra el viento. Esta fuente de energía es renovable, inagotable y de fácil acceso, pero su contenido energético es muy bajo y resulta imposible de almacenar (Serrano, 2014).

Por último, la unidad de medida de energía utilizada habitualmente es la tonelada equivalente de petróleo (tep). Según el Instituto Argentino de la Energía (IAE), su valor equivale a la cantidad de energía obtenida por la combustión de 1 tonelada de petróleo, la equivalencia depende de las estimaciones, pero, es de unos 41,868,000,000 J (julios).

## 1.1.2 Energía renovable.

Una de las acciones más eficaces que desde el punto de vista de la oferta se pueden llevar a cabo para disminuir los efectos del cambio climático es la explotación de fuentes de energía de origen renovables para disponer de energía eléctrica, térmica o calorífica. Las principales fuentes de energía de origen renovable son el Sol (energía solar térmica, fotovoltaica y termoeléctrica), el viento (eólica terrestre y marina), el agua dulce encauzada o embalsada, el agua del mar, la biomasa (madera y los residuos vegetales y animales), el biogás, los biocarburantes (bioetanol, y biodiesel), el calor interior de la corteza terrestre. (Centro de Urbanismo Sostenible Valdespartera, 2014).

### 1.1.2.1.- Principales ventajas de la energía renovable.

- a) Disminución en las emisiones de GEI, durante su etapa de operación. Su explotación es respetuosa con el medio ambiente.
- b) Son inagotables y autóctonas. Su uso disminuye el grado de dependencia exterior y aumenta la seguridad del suministro.
- c) La mayor parte de ellas son gratuitas, aunque, los costos de inversión inicial pueden resultar más elevado que una instalación que opere en base a combustibles fósiles. Precisamente, este tema, es

ampliamente discutido al momento de comparar generadores en base a combustibles fósiles versus generadores en base a fuentes renovables.

- d) Al estar mayoritariamente localizadas en las zonas rurales, su desarrollo, puede convertirse en una herramienta de prosperidad. Claro está, que todo dependerá de las políticas nacionales sobre este tipo de tecnologías.
- e) Por su novedad, dinamismo y margen de mejora tecnológica, el sector de las energías renovables constituye una importante fuente de generación de empleo y de inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación para el país. Especialmente, esto aplica a los países altamente desarrollados.

### 1.1.3 Eficiencia energética.

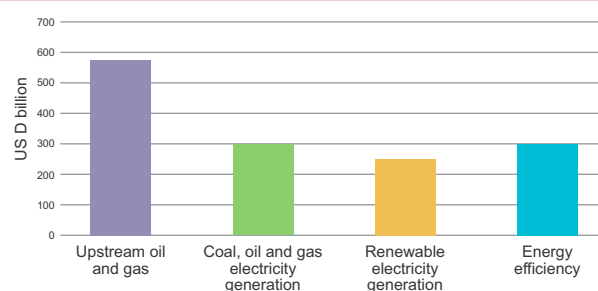
Según (UCATEE, 2010), la eficiencia energética (EE) es una herramienta que ayuda a reducir el consumo energético de los sistemas eléctricos y térmicos, y a su vez busca optimizar el desempeño de los mismos, evaluando sus parámetros de funcionamiento, sus consumos energéticos, la variación de la carga durante el periodo de trabajo, sus rendimientos, entre otros parámetros específicos de cada equipo.

En la actualidad, el uso de mecanismos relacionados con EE, se han convertido en una de las principales actividades en las economías más importantes del mundo. La Figura 1, muestra, en términos monetarios, una comparación entre los niveles de inversión en el sector energía.

Nótese, como las inversiones en EE, han superado a las hechas en generación de energía eléctrica. Para el 2011, las inversiones fueron del orden de los 300 billones de Dólares, haciendo que la EE se convierta en un actor importante dentro del sector energía.

**Figura 1**

**Montos de inversión, durante el 2013, en el sector energía.**



Fuente: (International Energy Agency, 2013)

### 1.1.4 Sistemas eléctricos.

La energía, especialmente la eléctrica, es un recurso con gran incidencia en los procesos productivos y en los actos cotidianos, íntimamente relacionado con el confort, la calidad de vida y el desarrollo económico. (UCATEE, 2010)

El mismo autor, establece que, para poder analizar las oportunidades de ahorro de los equipos eléctricos en la industria, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde la generación hasta su consumo, haciendo la siguiente descripción:

- a) En primer lugar, la generación puede ser hecha a base de hidrocarburos o fuentes renovables. Entre el primer grupo se encuentra los generadores a base a diésel, bunker o carbón.

En el segundo caso, se encuentran las plantas hidroeléctricas, los parques solares, las granjas eólicas. También, el uso de biomasa está ampliamente difundido para la generación de energía eléctrica.

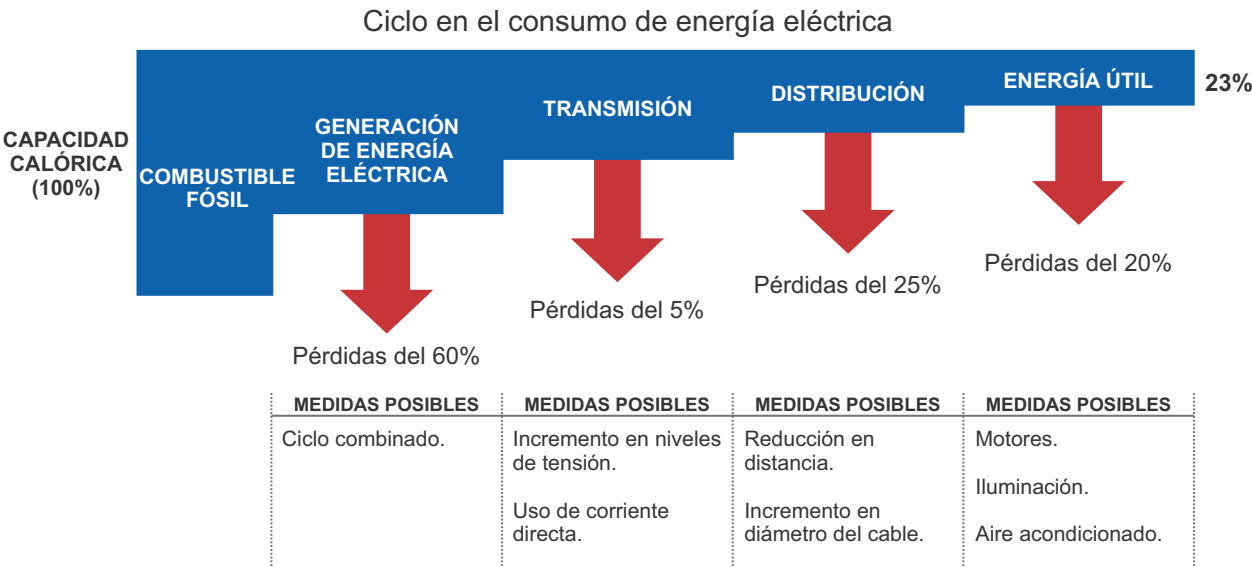
- b) Luego, por aspectos operativos, es necesario transmitir la energía generada, a niveles de tensión considerablemente altos, por ejemplo 230 kV.
- c) En las áreas de concentración humana, se realiza una sub transmisión de energía eléctrica, a niveles menores de tensión. Esto es llamado sistema de distribución que normalmente operan a niveles entre 13.8 y 34.5 kV.
- d) Los usuarios finales, consumen energía eléctrica proveniente de los sistemas de distribución a niveles de tensión entre los 240V hasta los 34.5 kV. A lo interno, cada usuario utiliza los niveles de tensión conforme a sus necesidades.

Por ejemplo, el sector residencial tiene una tensión monofásica de 120/240V, pero, en el caso industrial, los niveles de tensión pueden alcanzar los 4,160V. Esta diferencia en los niveles de tensión por tipo de cliente, obliga a considerar medidas de eficiencia energética que se aplican a cada sector específico.

Cabe destacar que durante todo el proceso, existen pérdidas. Para el caso de la figura 2, se plantea el proceso para un generador a base de combustibles fósiles, claramente, se puede notar que en cada ciclo existen pérdidas que deben ser identificadas para poder ser disminuidas por medio de la eficiencia energética.

Figura 2

Comportamiento de las pérdidas en un sistema eléctrico.



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.1.5 Administración de la energía eléctrica.

Los estudios realizados han demostrado que reducir la operación innecesaria del equipo representa un potencial significativo de ahorro de energía eléctrica; es común encontrar luminarias encendidas sin necesidad, máquinas encendidas sin procesar producto, cuartos refrigerados con la puerta abierta, entre otros. (UCATEE, 2010)

Actualmente, los dispositivos automáticos ofrecen tantas ventajas significativas a su contraparte humana; su confiabilidad es mucho mayor, ya que la fatiga, la falta de atención, mala actitud, incapacidad y otras características humanas no entran en juego. La recopilación de información de energía eléctrica en una empresa nos ayuda a:

- a) Interpretar y controlar las variables energéticas.
- b) Costeo Efectivo del producto.
- c) Generación de indicadores de desempeño y evaluar:
  - i.- Eficiencia en los procesos.
  - ii.- Detección de Anomalías.
  - iii.- Nuevas tecnologías.
- d) Reducción de picos de demanda.
- e) Evaluación de proyectos de generación alterna de energía.

### 1.1.6 Principales cargas en sistemas eléctricos.

Después de la descripción de algunos de los principales conceptos relacionados con la energía, eficiencia energética y energía eléctrica, se incluyen, a continuación, los principales equipos demandantes de este tipo de energía. Entre estos; motores y luminarias.

#### 1.1.6.1. Motores eléctricos.

Según el diccionario de la Real Academia Española, la palabra motor se define como, "Máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía". Existe una diversidad de tipos de motores, pero, en este caso, el interés se centra en los motores eléctricos, los cuales reciben energía eléctrica y la transforman en mecánica".

Figura 3

Motor Eléctrico Premium Efficiency IE3



Fuente: (Direct Industry)

De igual manera, los autores precitados, afirman, que existen numerosas estadísticas que demuestran la importancia de la energía eléctrica empleada por los motores. Los motores eléctricos de potencia superior a 700 W transforman aproximadamente el 75 % de la energía eléctrica en la industria y el comercio, empleándola para accionar bombas, ventiladores, ascensores, grúas y otras máquinas.

Para aquellos, La clasificación más usual de los motores eléctricos es la siguiente:

- a) Motores de corriente continua.
- b) Motores de corriente alterna.
- c) Síncronos.
- d) Asíncronos o de inducción.

Más del 60% de la energía eléctrica consumida en las industrias está destinada a transformarse en energía motriz en los motores eléctricos, utilizados en infinidad de aplicaciones como son el accionamiento de bombas, compresores, ventiladores y todo tipo de maquinaria en general. Por esta razón, conseguir una elevada eficiencia en estos equipos supone unos ahorros importantes, tanto energéticos como económicos.

El uso racional de energía en los motores eléctricos implica utilizarlos solo el tiempo que sea necesario de acuerdo a las condiciones de producción. Para reducir el consumo de energía eléctrica se pueden utilizar controles para apagar los motores cuando estos no sean necesarios.

#### 1.1.6.2. Iluminación.

Una buena iluminación es esencial para el bienestar y la salud. La iluminación en las empresas debe tener como objetivo fundamental, garantizar las óptimas condiciones para desarrollar las tareas correspondientes de los trabajadores, garantizando al mismo tiempo la máxima eficiencia energética posible. (Amaya Martínez, Valero Delgado, & et al., 2006)

La iluminación puede llegar a ser hasta el 10 % de la factura eléctrica de muchas fábricas y entre el 40 y 70 % en comercios y oficinas. Debido al constante incremento del precio de la electricidad, el uso racional de la misma puede llegar a constituir un porcentaje de ahorro muy importante. (IDEM)

Figura 4. Luminaria tipo LED

Figura 4. Luminaria tipo LED



Fuente: (Energy Solution, 2015)

### 1.1.7 Aspectos financieros.

#### 1.1.7.1. El Objetivo financiero.

Según la Asociación Colombiana de Ejecutivos de Finanzas, es comúnmente aceptado que todas las compañías, especialmente las compañías por acciones, deben ser gerenciadas para crear la mayor prosperidad posible.

Asimismo, Para muchos gerentes, maximizar la prosperidad, o el valor de los recursos humanos y financieros de la firma, necesariamente significa lo mismo que maximizar el valor de la compañía para sus dueños, o maximizar el valor para los accionistas. Este objetivo finalmente se materializa en la maximización el valor de las acciones comunes de la compañía.

La maximización de los beneficios, está intimidante relacionada con la inversión, por esto, definimos a continuación los términos invertir y proyecto de inversión. La claridad de estas definiciones, facilitará la evaluación financiera de los proyectos de eficiencia energética y/o energía renovable.

### 1.1.7.2. ¿Qué es invertir?

Para el autor precitado, Invertir es emplear recursos con el ánimo de obtener beneficios en el futuro. De esta manera inversión se corresponde con ahorro, o con el incremento en la producción. Una Inversión es una asignación irreversible de recursos con la expectativa de obtener beneficios en el futuro que es incierto.

En nuestro caso, la inversión se relaciona con la disminución (Ahorro) de los costos de producción. Este ahorro, disminuye el gasto sin impactar en el incremento de las unidades producidas.

Es irreversible en el sentido de que una mala asignación de recursos usualmente tiene un alto costo; como mínimo el costo de oportunidad de no asignarlos a otro uso. El futuro es incierto y por lo tanto implica riesgo de no obtener los beneficios esperados.

### 1.1.7.3. ¿Qué es un proyecto de Inversión?

Como su nombre lo indica, un proyecto es, una intención o pensamiento todavía no aceptado, de emplear recursos en algo que en opinión de alguna de las dependencias de la empresa es necesario o conveniente para el logro de sus objetivos, y del que se espera obtener beneficios a lo largo de su vida, es decir la duración del desarrollo del proyecto.

Para tomar la decisión de aceptar o rechazar un proyecto, es preciso, primero, cuantificar los recursos necesarios para llevarlo a cabo y, después comprobar que este empleo de recursos resulta satisfactorio, de acuerdo con algún criterio previamente establecido.

### 1.1.7.4.- Etapas de desarrollo de un Proyecto de Inversión.

Para el correcto desarrollo de un proyecto de inversión, forzosamente se deberá cumplir con las siguientes etapas. Este es el comportamiento claramente definido para cualquier tipo de inversión, incluida la eficiencia energética (EE) y/o la energía renovable para el autoconsumo (ER).

#### 1.1.7.4.1.- Identificación o formulación.

Corresponde a las primeras etapas de desarrollo de un proyecto en la cual se exploran ideas, que a pesar de la gran incertidumbre sobre su futuro, parecen ofrecer un potencial preliminar de creación de valor que de comprobarse permitirá tomar las primeras decisiones de asignación de recursos.

#### 1.1.7.4.2.- Factibilidad.

En la etapa de factibilidad de un proyecto se busca disminuir la incertidumbre de sus resultados recurriendo a estudios específicos que permitan una mayor confianza en sus pronósticos antes de tomar las grandes decisiones de asignación de recursos implícitos en la etapa de construcción o ejecución del proyecto.

#### 1.1.7.4.3.- Construcción o Ejecución.

La etapa de construcción o ejecución de proyectos comienza con la decisión de asignación de recursos. Una vez iniciada y conforme avanza en su ejecución se convierte en una etapa clave caracterizada por el uso intensivo de herramientas de gerencia de proyectos.

El control del monto de los recursos empleados es clave para el desarrollo futuro del proyecto.

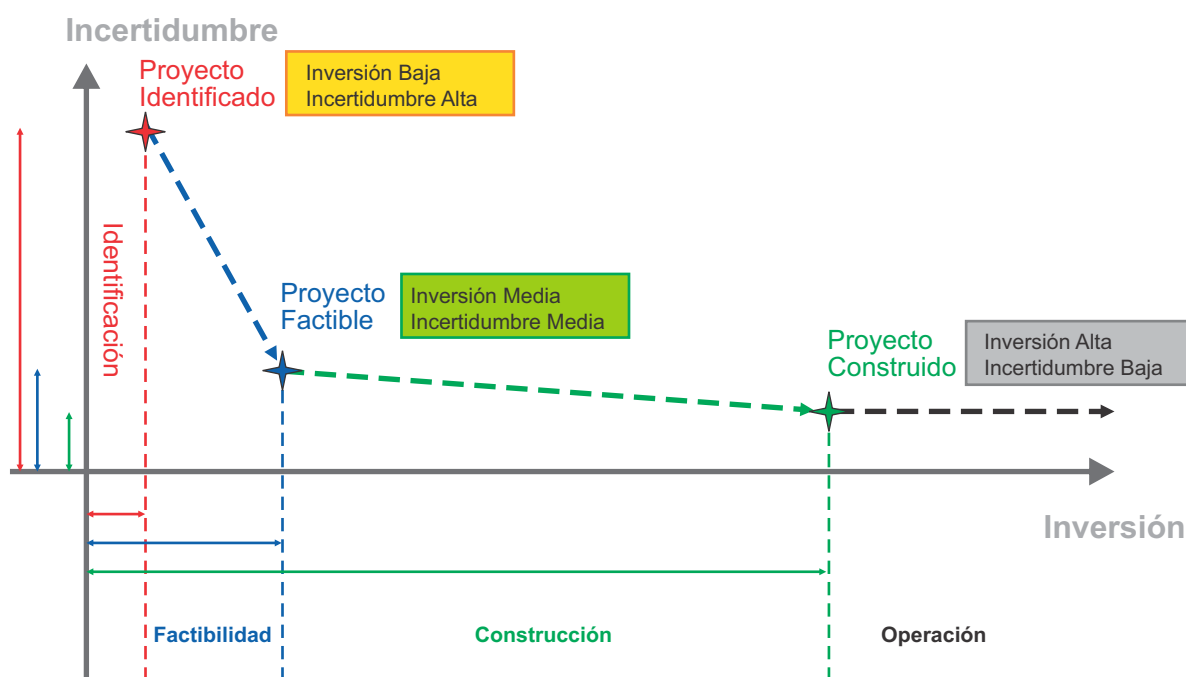
#### 1.1.7.4.4.- Operación.

En esta etapa se capturan los beneficios del proyecto y por lo tanto el valor económico prometido. Es en este momento, donde es posible definir la efectividad de la inversión.

En cada una de estas etapas, se presentan distintos tipos de incertidumbre y de montos de inversión. Por ejemplo, la etapa de "Identificación y Factibilidad", para el caso de la EE, tienen costos bajos y riesgos bajos.

**Figura 5**

**Relación incertidumbre-inversión en el ciclo del proyecto**



Fuente: (Asociación Colombiana de Ejecutivos de Finanzas., 2006)

En el caso de la ER, las dos primeras etapas tienen costos más elevados que la EE y una mayor incertidumbre. Como ejemplo, es posible que los estudios de pequeñas planta hidroeléctricas resulten costosos y que el proyecto se no viable y no factible.

Para poder evaluar la incertidumbre de estos proyectos, se utilizan ampliamente dos indicadores financieros, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). En los siguientes párrafos se describen cada uno de ellos.

#### 1.1.7.4.5.- TIR y VAN.

En un proyecto empresarial es muy importante analizar la posible rentabilidad del proyecto y sobre todo si es viable o no. Cuando se forma una empresa hay que invertir un capital y se espera obtener una rentabilidad a lo largo de los años. Esta rentabilidad debe ser mayor al menos que una inversión con poco riesgo (letras del Estado, o depósitos en entidades financieras solventes). De lo contrario es más sencillo invertir el dinero en dichos productos con bajo riesgo en lugar de dedicar tiempo y esfuerzo a la creación empresarial. (Sánchez, 1998)

Dos parámetros muy usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, y es la estimación de los flujos de caja que tenga la empresa (simplificando, ingresos menos gastos netos).

Si tenemos un proyecto que requiere una inversión  $X$  y nos generará flujos de caja positivos  $Y$  a lo largo de  $Z$  años, habrá un punto en el que recuperemos la inversión  $X$ . Pero claro, si en lugar de invertir el dinero  $X$  en un proyecto empresarial lo hubiéramos invertido en un producto financiero, también tendríamos un retorno de dicha inversión. Por lo tanto a los flujos de caja hay que recortarles una tasa de interés que podríamos haber obtenido, es decir, actualizar los ingresos futuros a la fecha actual. Si a este valor le descontamos la inversión inicial, tenemos el Valor Actual Neto del proyecto.

Si por ejemplo, hacemos una estimación de los ingresos de nuestra empresa durante cinco años, para que el proyecto sea rentable el VAN tendrá que ser superior a cero, lo que significará que recuperaremos la inversión inicial y tendremos más capital que si lo hubiéramos puesto a renta fija.

Bocco y Vence, citado en (Aparicio, Dapás, & Et a., 2012), desprende que la fórmula para el cálculo del VAN es la siguiente: donde  $I$  es la inversión,  $Q_n$  es el flujo de caja del año  $n$ ,  $r$  la tasa de interés con la que estamos comparando y  $N$  el número de años de la inversión:

Otra forma de calcular lo mismo es mirar la Tasa Interna de Retorno, que sería el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Si el TIR es alto, estamos ante un proyecto empresarial rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés altos que posiblemente no se encuentren en el mercado. Sin embargo, si el TIR es bajo, posiblemente podríamos encontrar otro destino para nuestro dinero.

#### Fórmula 1

La fórmula que nos permite calcular el Valor Activo Neto.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Fuente: (Energy Solution, 2015)

Por supuesto que en la evaluación de un proyecto empresarial hay muchas otras cosas que evaluar, como por ejemplo el tiempo que se tarda en recuperar la inversión, el riesgo que tiene el proyecto, análisis costo-beneficio, y tienen algunos problemas como son la verosimilitud de las predicciones de flujo de caja. Pero el VAN y el TIR no dejan de ser un interesante punto de partida.

### 1.1.8 Equipos de medición.

Como parte integral del proceso de EE, los equipos de medición, se convierten en el mecanismo óptimo para el establecimiento de línea base y el monitoreo posterior. Es decir, el desarrollo de proyectos de EE, nos obliga al uso de instrumentos de medición, los más importantes, se mencionan en las siguientes páginas.

#### 1.1.8.1.- Cámaras termográficas.

Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro (en forma infrarroja) en función de su temperatura. Generalmente, los objetos con mayor temperatura emiten más radiación infrarroja que los que poseen menor temperatura.

Las imágenes visualizan en una pantalla, y tienden a ser monocromáticas, porque se utiliza un sólo tipo de sensor que percibe una particular longitud de onda infrarroja. Muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y al menos en negro, y con matices grises los grados de temperatura intermedios entre los límites térmicos.

Sin embargo, existen otras cámaras infrarrojas que se usan exclusivamente para medir temperaturas y procesan las imágenes para que se muestren coloreadas, porque son más fáciles de interpretar con la vista. Pero esos colores no corresponden a la radiación infrarroja percibida, sino que la cámara los asigna arbitrariamente, de acuerdo al rango de intensidad de particular longitud de onda infrarroja, por eso se llaman falsos colores o pseudocolores.

Aplicaciones: originalmente fueron desarrolladas para uso militar en la guerra de Corea. Las cámaras fueron migrando de forma paulatina a otros campos tales como medicina o arqueología. Más recientemente, avances ópticos y el empleo de sofisticados interfaces de software han mejorado la versatilidad de este tipo de cámaras, por ejemplo, puede conocerse la temperatura corporal al instante, la cámara puede verificar si la temperatura es superior a la normal y se dispara una alarma sonora para que se identifique a la persona.

Las aplicaciones incluyen:

- a) Militares y policiales para detección de objetivos y adquisición de datos.
- b) Seguridad y antiterrorismo.
- c) Mantenimiento predictivo (detección temprana de fallos tanto mecánicos como eléctricos).
- d) Control de procesos.

Figura 6

Cámara termográfica



FLIR. Fuente: (FLIR, 2015)

- e) Detección o análisis de incendios.
- f) Industria automotriz.
- g) Inspección de suelos.
- h) Auditoría de aislantes acústicos.
- i) Inspección de muros.
- k) Medicina y diagnóstico.
- l) Análisis no destructivos;
- m) Test de calidad en entornos de producción;
- n) Detección de polución;
- o) Detección de temperatura corporal, por ejemplo, para la detección de gripe A.
- p) Observación de animales en su medio natural durante la noche, para estudios de conducta.

### 1.1.8.2.- Analizador de redes

Los analizadores de redes eléctricas son equipos que indican determinados parámetros/características de una red eléctrica durante las 24 horas del día. Existen diversos tipos de analizadores que varían en función del uso de la red eléctrica objeto del estudio, parámetros eléctricos que queremos analizar, lugar de la medición, frecuencia del análisis/mediciones. Algunos de ellos únicamente identifican los parámetros medidos sin registrarlos. Otros equipos disponen de memoria y almacenan los datos durante un determinado tiempo.

Figura 7

Analizador de redes Extech.



Fuente: (Extech)

#### 1.1.8.2.1.- Tipos de analizadores de redes.

Desde el punto de vista de la capacidad de medir parámetro cuyo comportamiento es vectorial, los analizadores se dividen en dos tipos:

- a) El analizador de redes escalar (SNA, Scalar Network Analyzer), mide propiedades de amplitud.
- b) Un analizador vectorial (VNA, Vector Network Analyzer) es mucho más potente que el analizador escalar.
- c) La mayor diferencia es que un VNA añade la capacidad de medir fase, así como la amplitud. También se denomina Medidor de Ganancia y Fase o Analizador de Redes Automático.

### 1.1.8.2.2.- Ventajas en el uso de analizadores de redes.

- a) Detección y prevención del exceso de consumo ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ). Podemos analizar curvas de carga para ver dónde se produce la máxima demanda de energía.
- b) Detectar la necesidad de instalación de una batería de condensadores, así como su potencia. Detectar fraude en los contadores de energía.
- c) Realización de mantenimientos periódicos del estado de la red eléctrica, tanto en baja como en media tensión, ver curvas de arranque de motores, detectar posibles saturaciones del transformador de potencia, cortes de alimentación, deficiente calidad de suministro eléctrico.
- d) Análisis de problemas en la red eléctrica, para poder solucionar problemas de disparos intempestivos, fugas diferenciales, calentamiento de cables, resonancias, armónicos, perturbaciones, flicker, desequilibrios de fases, etc. Al mismo tiempo, nos permite diseñar los tamaños adecuados para los filtros activos o pasivos de armónicos y filtros para variadores de velocidad.

### 1.1.8.2.3.- Parámetros medidos en los analizadores de red

- a) El flicker o parpadeo, es un disturbio en la amplitud de la tensión, es de tipo conducido, no simétrico (distinto en cada fase), cuya principal consecuencia es la variación del brillo de las lámparas incandescentes, que causa molestia visual y produce cansancio.
- b) Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de operación de la red. Entre otros muchos, los principales causantes de las distorsiones armónicas son: Las reactancias electromagnéticas y electrónicas de alumbrado, equipos de soldadura eléctrica, equipos electrónicos conectados a la red monofásica, reactancias electromagnéticas para lámparas de descarga, arrancadores electrónicos, variadores de velocidad.
- c) Distorsión armónica (THD) de tensión y corriente. Las corrientes armónicas al circular por el sistema de potencia producen caídas de tensión armónicas que son capaces de distorsionar la onda de tensión de suministro. La forma de evaluar una tensión o una corriente distorsionada es a través del parámetro denominado distorsión armónica total THD (Total Harmonic Distorsión).
- d) El valor eficaz de una corriente alterna es el valor que tendría una corriente continua que produjera la misma potencia que dicha corriente alterna, al aplicar sobre una misma resistencia. Es decir, se conoce el valor máximo de una corriente alterna ( $I_0$ ). Se aplica esta sobre una cierta resistencia y se mide la potencia y se mide la potencia producida sobre ella. A continuación, se busca un valor de corriente continua que produzca la misma potencia sobre esa misma resistencia. A este último valor, se le llama valor eficaz de la primera corriente (la alterna).
- e) El Factor de Potencia (FP) es la relación entre las Potencias Activa (P) y Aparente (S). La importancia de la medición de este parámetro está relacionado con el hecho de que la empresa de distribución de energía eléctrica, define un límite mínimo del FP; debajo de dicho valor, se establece una penalidad.

#### 1.1.8.2.4.- Clasificación.

- Analizadores fijos con montaje en panel, instalados en la parte frontal de los gabinetes o tableros eléctricos, permitiendo una visibilidad directa. Se utilizan para control en cuadros de distribución y acometidas de baja y media tensión.
- Control de alarma, totalmente programable la variable a controlar, el valor máximo, el valor mínimo y el retardo, control de la energía activa o reactiva mediante salida de impulsos parámetros eléctricos medidos.
- Analizadores fijos con montaje carril DIN: son instalados internamente de los gabinetes o tableros eléctricos. Se utilizan en cuadros de distribución y acometidas de baja y media tensión.
- Analizadores portátiles: Miden todos los principales parámetros eléctricos de una red eléctrica en verdadero valor eficaz con 4 canales de tensión y 4 de corriente. Se pueden realizar estudios completos de una instalación registrando: armónicos, perturbaciones, comprobación de contadores, transitorios, flicker, etc.

#### 1.1.8.3.- Luxómetros.

El luxómetro moderno funciona según el principio de una celda (célula) C.C.D. o fotovoltaica; un circuito integrado recibe una cierta cantidad de luz (fotones que constituyen la "señal", una energía de brillo) y la transforma en una señal eléctrica (analógica). Esta señal es visible por el desplazamiento de una aguja, el encendido de un diodo o la fijación de una cifra. Una fotorresistencia asociada a un ohmímetro desempeñaría el mismo papel.

Un filtro de corrección de espectro permite evitar que las diferencias de espectro produzcan errores en la medida (la luz amarilla es más eficaz que la azul, por ejemplo, para producir un electrón a partir de la energía de un paquete de fotones). Otro tema importante es que, los luxómetros únicamente miden las longitudes de onda electromagnéticas visibles, a diferencia de los piranómetros que son capaces de medir todo el rango espectral sin importar la frecuencia de la señal.

Los luxómetros pueden tener varias escalas para adaptarse a las luminosidades débiles o las fuertes (hasta varias decenas de millares de luxes).

##### 1.1.8.3.1.- Aplicaciones

Los primero han sido utilizados por fotógrafos y cineastas. Es cada vez más utilizado por los productores de energía para optimizar la iluminación interior (del 20 al 60 % de la electricidad es consumida por la iluminación) o exterior (que a menudo desperdicia mucha energía).

Se utilizan también, más raramente para medir la luminosidad del cielo en meteorología, para medir la luz recibida al suelo en bosques o en invernaderos.

Figura 8

Luxómetro Extech.



Fuente: (Extech)

En los últimos años también ha comenzado a ser utilizado por ecologistas, astrónomos y arquitectos para desarrollar índices cuantitativos de la contaminación lumínica o la intrusión de la luz para reducirlas o adaptar estrategias de ingeniería.

Otro uso es el que le dan los profesionales de higiene y seguridad, a fin de determinar la posibilidad de ocurrencia de una enfermedad profesional por deficiencias lumínicas, ya que así lo establece la legislación laboral en muchos países (ley 19587 de seguridad e higiene laboral en Argentina o la NOM-025-STPS-2008 en México que habla de las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, por citar algunos ejemplos), también son utilizados por técnicos en prevención de riesgos laborales en los lugares de trabajo.

## 2.1. Contexto mundial

El Centro de Formación para la Integración Regional (CEFIR), organismo perteneciente al Mercado Común del Sur (MERCOSUR), establece que, el consumo de energía se ha duplicado en los últimos 25 años. Un similar aumento se comprueba en la producción fabril y en el consumo de los hogares. Pero estos cambios varían fuertemente de acuerdo a las distintas regiones del planeta.

El consumo de energía viene acompañando el sostenido crecimiento de la producción industrial, del consumo doméstico y del transporte. Esto se relaciona directamente con un aumento en las necesidades económicas y sociales de la población mundial. Pero este incremento no se da en todas las regiones por igual.

El 70% del aumento estimado de la demanda de energía, para el próximo cuarto de siglo, tiene su origen en los países en desarrollo. China, por sí sola, sería responsable por el 30% de ese aumento.

El proceso de globalización ha llevado a un nivel mayor de industrialización de los países en desarrollo, y al crecimiento de sus economías, lo que fundamenta el mencionado crecimiento energético.

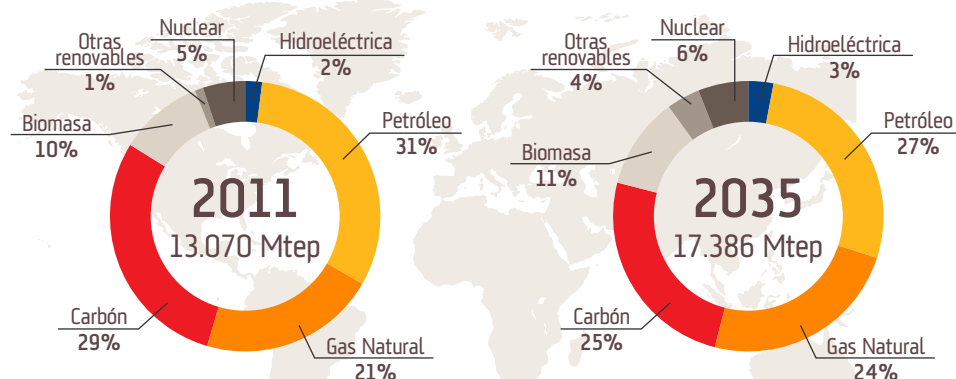
Tampoco el consumo doméstico de energía es equitativo a nivel planetario, o siquiera local. 1.600 millones de personas en el mundo aún no tienen acceso a la electricidad y 2.500 millones recurren a la leña, el carbón, los residuos agrícolas (biomasa) y a los excrementos de animales para satisfacer sus necesidades diarias de energía.

Casi la mitad del consumo de energía primaria está destinada a la producción de electricidad, y un quinto se destina a los medios de transporte (en forma de combustible fósil). La incorporación del automóvil como medio de transporte individual masivo, y el uso cotidiano de cada vez más numerosos aparatos eléctricos, en particular los utilizados en comunicaciones, aumentan la demanda energética.

El petróleo y otros combustibles fósiles como el carbón y el gas natural, se consolidaron durante el siglo XX como la base de la matriz energética, tanto por los costos de producción y de transporte como por la multiplicidad de usos. A corto plazo no se prevé un cambio significativo en esta situación, a pesar de lo limitado de los yacimientos o de las consecuencias ambientales de su utilización. La estructura de consumo por fuentes energéticas es una de las claves para analizar los retos a los que nos enfrentaremos en el futuro. Esta estructura, en la que el petróleo y el resto de combustibles fósiles tienen un peso significativo, queda reflejada en la matriz energética de consumo mundial de energía primaria. En este apartado encontrarás los datos y la evolución previsible de dicha matriz según la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Figura 9

Perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria.



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (WEO 2013) y D. Secretaría Técnica de Respsol

A escala mundial, los hidrocarburos aportan más de la mitad de la energía primaria consumida. En particular, el 33% del consumo energético primario global proviene del petróleo, siendo así la fuente energética más utilizada. (REPSOL, 2013)

Durante los próximos años no se esperan grandes cambios. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en su escenario base del World Energy Outlook de 2011, el petróleo registrará una contracción de 5 puntos porcentuales en la matriz energética de 2035 respecto a 2009. Por su parte, el gas natural alcanzará una participación del 23% sobre una demanda energética total estimada en 16.961 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Según el CEFIR, una política energética social y ambientalmente sustentable debe repensar tanto la matriz energética actual como la distribución de la producción de energía, de modo que las mejoras en calidad de vida alcancen a toda la población mundial, pero que no pongan en riesgo la supervivencia de la vida humana en el planeta.

Esta preocupación es también parte del pensamiento del sector privado a nivel mundial. Así lo afirmó la empresa REPSOL en el 2013, al decir:

“Desde Repsol pensamos que es fundamental conocer el contexto energético mundial, en especial, con el petróleo y los combustibles fósiles, que seguirán siendo la principal fuente energética en el corto, medio y largo plazo.”

### 2.1.1. Contexto económico-financiero.

Las previsiones de crecimiento económico se convierten en la base para saber qué evolución va a tener el sector energético en el futuro. El Departamento de Estudios y Análisis del Entorno de Repsol publica periódicamente un informe sobre las previsiones de crecimiento económico y sobre el Informe de Estabilidad Financiera del Fondo Monetario Internacional.

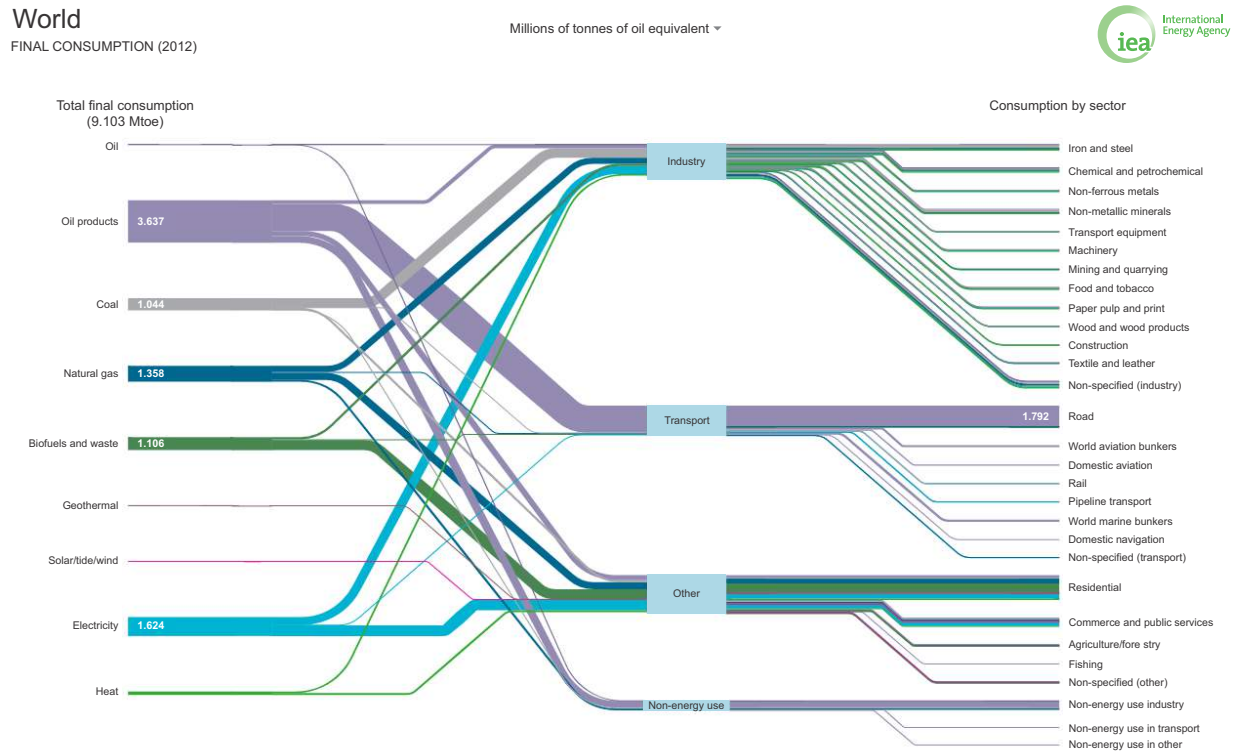
### 2.1.2. Matriz energética mundial.

Es fundamental conocer cuál es la estructura de consumo por fuentes energéticas para analizar los retos a los que nos enfrentaremos en el futuro. Al 2012, la producción de energía alcanzó los 18,600 Mtep, de los cuales, 8,900 Mtep fueron consumida por los distintos sectores de la economía.

Desde la producción, los combustibles fósiles, el carbón y el gas natural representan más del 77% de las fuentes primarias consumidas y desde el punto de vista del consumo, los sectores transporte, industria y el consumo residencial comparten un 92% del consumo final de energía.

Figura 10

## Balance energético mundial.



Fuente: (IEA, 2012)

## 2.1.3 Geopolítica de los recursos.

El petróleo y el gas natural aportan conjuntamente más de la mitad de la energía primaria consumida a escala mundial. Por este motivo es importante identificar la diferencia existente entre los países que producen estos recursos y aquellos que los demandan.

Claro está, que la evaluación específica de este aspecto, no es el objetivo de este manual. Para ampliar el tema, se recomienda visitar la dirección [www.iea.org](http://www.iea.org).

## 2.2. Contexto centroamericano

El Subsector Eléctrico debe ser tratado con la importancia necesaria, es una herramienta determinante para el desarrollo de las sociedades y no puede ser manejado de manera independientemente a otros sectores que son la base de la estabilidad de una nación.

Los proyectos de energía eléctrica acompañan a los planes de crecimiento económico y de desarrollo. La tecnificación de procesos agro-industriales, el incremento anual en la industria, el incremento en los índices de electrificación junto con la expansión del sector comercio y turismo determinan los incrementos en potencia y energía.

Pero, preocuparse únicamente por satisfacer estos incrementos en la demanda de energía sin considerar factores externos e internos puede producir un sistema insostenible en el mediano y largo plazo. El precio del combustible, la intensidad energética<sup>1</sup>, las emisiones de gases de efecto invernadero, la pobreza e inequidad, el múltiple aprovechamiento de fuentes energéticas propias del país son algunos aspectos determinantes en la planificación de los sistemas eléctricos.

El no incluirlos, produce una marcada insostenibilidad ya que: “un país con limitaciones económicas y sociales” debe buscar que todas las inversiones realizadas permitan mejorar los indicadores socio-económicos.

Por lo anterior, un país puede escoger entre dos metodologías para desarrollar el sub sector eléctrico. La primera es buscar el bienestar común, con proyectos beneficiarios para todos; o, el bienestar de la población que puede pagar cualquier precio de energía eléctrica.

Los proyectos que benefician a una nación se caracterizan normalmente por ser de largo plazo y con utilización de materia prima proveniente del país, normalmente de mayor costo inicial de inversión y con elevados riesgos. Ejemplo claro de este tipo de proyectos son los grandes hidroeléctricos.

La segunda metodología busca alta rentabilidad, menor riesgo, beneficiando directamente a los que tienen capacidad de pago y excluyendo a los menos favorecidos. Esto sucede con la generación a base de fuel oil (bunker) y diésel, donde, la inestabilidad en los precios de un producto importado produce altos costos por unidad energética consumida limitando el acceso a los de menor ingreso.

Después de esta descripción del sector energético en el área de electricidad y en congruencia con lo que menciona la Agencia Internacional de Energía (IEA)<sup>2</sup> “uno de los principales desafíos de los sistemas energéticos es: superar el problema de poblaciones con muy bajo desarrollo y donde la solución es el acceso a fuentes energéticas de mejor calidad que acompañaran las políticas de desarrollo humano”.

Es urgente la búsqueda de fuentes energéticas:

- a) Confiables,
- b) Renovables y
- c) Que permitan mejorar la distribución del ingreso. Una posibilidad de cumplir con los primeros dos incisos es desarrollar proyectos de energía renovable y los sistemas aislados para el inciso “c”.

1/ Por definición la intensidad energética es un indicador de cuanta energía se necesita para producir una unidad del PIB. Una baja intensidad energética representa un país altamente industrializado, una alta intensidad energética, como el caso de Honduras, indica una industria muy poco desarrollada.

2/ Internacional Energy Agency en el paper; Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? En la dirección: [http://www.iea.org/papers/2007/Birol\\_Energy\\_Journal.pdf](http://www.iea.org/papers/2007/Birol_Energy_Journal.pdf)

## 3.1. Eficiencia Energética en el Consumo de Energía Eléctrica

### 3.1.1 Sistemas de Iluminación<sup>3</sup>

Existen dos fuentes principales de iluminación: la natural procede del sol, mientras que la artificial utiliza la electricidad. La luz natural es de mejor calidad, sin embargo, su aprovechamiento está sujeto a factores como horas de luz solar efectivas, época del año, estado del tiempo y construcción de las instalaciones.

De hecho, es recomendable que en todas las nuevas edificaciones se considere la aportación de luz natural y su integración con la luz artificial y el acondicionamiento del aire. La luz artificial es una solución fundamental para las necesidades de iluminación, de modo que su uso generalizado se extiende a los sectores residencial, industrial, comercial y de servicios, donde se puede encontrar una gran variedad de alternativas en los sistemas de iluminación, de acuerdo con los requerimientos de cada uso final.

Los sistemas de iluminación artificial están compuestos, en su mayoría, por cuatro dispositivos. Cada uno de ellos, se enuncian a continuación:

- a) La lámpara: es la fuente de luz, puede ser un bombillo incandescente, un fluorescente lineal, una lámpara fluorescente compacta -LFC-, o una lámpara LED entre otros.
- b) El balastro: es el dispositivo electromagnético o electrónico que suministra las necesidades de corriente y tensión en algunos tipos de lámparas. Como ejemplo, las lámparas fluorescentes operan con el uso de un balastro, en cambio, las incandescentes no lo necesitan.
- c) La luminaria: es el equipo que cumple funciones estructurales, estéticas y de control óptico de la luz. Sirve para aumentar la eficiencia lumínica y dirigir el haz de luz. En las lámparas LED el mismo diodo dirige el haz, por lo que sólo se usa con funciones estéticas y de protección.
- d) El control: es el dispositivo que controla el encendido y apagado de las lámparas en forma manual o automática. (interruptor) este conjunto de dispositivos trabajan armoniosamente para producir los efectos luminosos deseados. De hecho, el sistema debe proporcionar el nivel de iluminación necesario, evitar deslumbramientos indeseables, reproducir fielmente los colores de los objetos, resaltando sus formas y texturas, creando un ambiente adecuado para el usuario y su actividad.

#### 3.1.1.1.- Conceptos Fundamentales de los Sistemas de Iluminación.

Existen parámetros importantes que se deben conocer con respecto a las lámparas:

- a) Flujo luminoso: Cualquier lámpara genera energía radiante en forma de luz, la cual es llamada flujo luminoso y se mide en lúmenes. (Lm). Bajo condiciones fotópicas, una luz monocromática de 555 nm (color verde) con un flujo radiante de 1 W, genera un flujo luminoso de 683,002 lm, que corresponde con la máxima respuesta del ojo humano.

3/ Tomado de <http://goodleds.co/module/csblog/listpost/2-ahorroeficiencia-energ%C3%A9tica->

- b) Eficacia: Las lámparas tienen capacidad para convertir la electricidad en luz visible. La calidad de la luz emitida es dividida entre la potencia (W) utilizada para determinar su eficacia. Esta calidad se expresa en lúmenes entre Watts (Lm/W), lo que mide la eficiencia energética de la lámpara.
- c) Intensidad luminosa: Si ponemos un reflector de aluminio alrededor de una lámpara, la luz se concentrará en una dirección particular. Los lúmenes totales emitidos no pueden cambiar en gran medida, sin embargo, la intensidad luminosa, que es la concentración de luz en una dirección particular, puede variar considerablemente. La intensidad luminosa es medida en candelas (cd).
- d) Iluminancia: Cuando la luz incide en una superficie crea iluminancia en esa superficie. Esta, entonces, es una medida del flujo luminoso que incide sobre cierta superficie por unidad de área; es medida en lux (lx).
- e) Luminancia: es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su unidad de medida es candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).
- f) Índice de rendimiento de color (IRC): Los colores de los objetos lucen diferentes bajo distintos tipos de luz. El IRC en escala de 0 a 100 es una medida de la capacidad de la lámpara para hacer que los colores luzcan naturales. Generalmente, cuanto mayor sea el IRC, mejor lucirán los colores de los objetos. Una lámpara incandescente y la luz natural en el día tienen un IRC de 100.
- g) Temperatura de color (TC): En una fuente de luz se define la temperatura de color al comparar su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Dicha temperatura generalmente se expresa en kelvin (K), sin tener ninguna relación con la temperatura real de la lámpara, veamos un ejemplo:

Se dice que un objeto es rojo porque refleja las radiaciones luminosas rojas y absorbe todos los demás colores del espectro. Esto es válido si la fuente luminosa produce la suficiente cantidad de radiaciones en la zona roja del espectro visible. Por lo tanto, para que una fuente de luz sea considerada como de buen "rendimiento de color", debe emitir todos los colores del espectro visible. Si falta uno de ellos, éste no podrá ser reflejado.

Por tanto, vemos que para poder ver uno o varios colores, no solo es necesario conocer y definir la temperatura del color de nuestro proyecto, sino, que también debemos tener en cuenta el Índice de Reproducción Cromática (IRC), de la lámpara dada. Además, debemos tener en cuenta que ambos parámetros no se encuentran interrelacionados, y son independientes el uno del otro. Como ejemplo de esto, comparemos la luz del sol con la de una bombilla incandescente.

Ambas presentan una reproducción cromática excelente al encontrarse en su espectro, todos y cada uno de los colores, pero la apariencia del color es totalmente diferente, ya que, mientras que en el caso de la luz solar su T.C. es fría, en la incandescente T.C. será cálida, por lo que percibiremos diferentes sensaciones sobre los volúmenes, espacios y colores iluminados.

Si hablamos de lámparas de descarga, veremos con su espectro de luz visible no es continuo, es decir, no contiene todos los colores, y en función de esta variable, el IRC puede ser muy desfavorable (caso de las fluorescentes), paliadas, en gran medida, con la llegada de gamas con hasta un 90% de IRC.

En la práctica se distinguen las siguientes categorías:

- a) IRC 90 y 100 – excelente reproducción del color.
- b) IRC 80 y 90 – buena reproducción del color.
- c) IRC 60 y 80 – presentará distorsión en algunos colores, no apto para lugares con permanencia de personas.

### 3.1.1.2.- Principales Tipos de Lámparas

#### 3.1.1.2.1.- Incandescentes convencionales.

Es el tipo de lámpara más común, pero energéticamente más ineficiente, ya que ha evolucionado muy poco a través de los años. (Las lámparas incandescentes convencionales tienen cualidades que las han hecho muy populares en los últimos 100 años, pero las desventajas que presentan son más que las ventajas.

Por ejemplo, su costo inicial es muy bajo, tienen buena calidad de luz, son fáciles de conseguir y su instalación es muy simple; sin embargo, su costo de operación es muy alto, debido a su corta vida y a su bajísima eficiencia. Estos dispositivos producen calor excesivo en casi todas las aplicaciones, requiriendo mayor trabajo de la unidad acondicionadora de aire para climatizar el espacio aumentan notablemente la potencia total y el consumo eléctrico en las instalaciones; además, son muy vulnerables a golpes y variaciones de tensión eléctrica.

#### 3.1.1.2.2.- Halógenas.

Son lámparas incandescentes mejoradas que tienen una vida más larga que las incandescentes convencionales. En casi todos los casos se usan para iluminación directa de puntos y objetos específicos. Dentro de esta familia de lámparas se encuentran las de última tecnología llamada IRC (recubrimiento infrarrojo), que incrementan la eficiencia hasta en 65%, con respecto a las incandescentes convencionales y hasta en 30%, con respecto a las halógenas estándar.

Una consideración importante es utilizar lámparas halógenas IRC con filtro de radiación ultravioleta (UV STOP), ya que, por su diseño, tienden a producir radiaciones que pueden causar daño a los materiales y a la salud de las personas, sobre todo en los casos de exposición prolongada.

#### 3.1.1.2.3.- Fluorescentes lineales.

Son lámparas de descarga en gas que consisten en un tubo de vidrio cerrado con gases nobles, fósforo y una pequeña cantidad de mercurio. Se fabrican en potencias que van desde los 4 hasta los 215 vatios y en bulbos de formas diversas (rectos, circulares, en "U"), con diámetros expresados en octavos de pulgada: 12/8" (T12), 8/8" (T8), 5/8" (T5). Cuanto menor sea el diámetro, mayor es la eficiencia del fluorescente lineal.

A diferencia de las lámparas incandescentes, todas las fluorescentes requieren de un balastro para su funcionamiento. Los balastros electrónicos son más caros que los electromagnéticos, pero son muy recomendables por tener un desempeño energético superior.

#### 3.1.1.2.4.- Lámparas fluorescentes compactas (LFC).

Usan una tecnología similar a la de las fluorescentes lineales y fueron diseñadas originalmente para sustituir a las lámparas incandescentes. Están disponibles desde 3 hasta 120 Watts, con múltiples formas, como las de tubo recto o curvo, bala, ventilador, globo, reflector, espiral, etc.

Éstas tienen la gran ventaja de sustituir directamente a las lámparas incandescentes sin necesidad de ninguna instalación especial y con ahorros de energía de entre 60% y 80%. Además, tienen una vida útil entre 5 y 20 veces mayor que las incandescentes y no producen calor excesivo que sobrecargue los equipos acondicionadores de aire.

#### 3.1.1.2.5.- Diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés).

Los LED son dispositivos semiconductores de estado sólido, muy robustos, fiables, resistentes a las vibraciones y de muy larga duración. El interior de un LED es un pequeño semiconductor encapsulado en una resina especial. Se fabrican en colores llamativos que van desde el rojo hasta el naranja, amarillo, verde, azul y más recientemente blanco.

Los LED blancos se pueden seleccionar en diferentes tonos de luz blanca, que va desde la cálida hasta la muy fría. Dada su larga vida, son muy recomendables para aplicaciones de operación continua, como letreros de salida, de emergencia, etc. Una de sus aplicaciones más conocidas son los teléfonos celulares y los faros traseros de los autos modernos. Los LED también se pueden atenuar con un control relativamente sencillo (dimmer).

### 3.1.2. ¿Por qué Utilizar Lámparas Eficientes?

La clave de la eficiencia energética en el alumbrado es identificar la cantidad y calidad de iluminación que se necesita en cada uno de los ambientes, tanto interiores como exteriores. Una de las estrategias, para un uso eficiente de los sistemas de iluminación, es apegarse a los niveles de iluminación recomendables de acuerdo con la actividad desarrollada.

Las zonas excesivamente iluminadas ofrecen mayores oportunidades de ahorro, mientras que las áreas con niveles bajos deben rediseñarse, buscando un balance entre los niveles de iluminación y el consumo energético. Una acción que siempre da buenos resultados es eliminar las lámparas de eficiencia baja, por ejemplo, los incandescentes convencionales y fluorescentes T12. También debe evitarse el uso de balastos electromagnéticos y luminarias que cumplieron su vida útil y/o están en mal estado.

Aunque las lámparas más eficientes como las de LED, tienen un costo inicial mayor que las demás, los ahorros de energía son sustanciales y los períodos para recuperar la inversión suelen ser de 1 a 3 años, dependiendo de las horas de uso y la tarifa eléctrica. Otra ventaja de las lámparas eficientes es su mayor vida útil, entre 5 y 15 veces más que las CFL y fluorescentes y más de 50 veces que las incandescentes convencionales.

Tabla 1

## Necesidades de Iluminación en Áreas Específicas.

| Áreas                   | Descripción/actividades                                                                                                                                                                                                                                     | Tipos recomendados de lámpara                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Escaleras, corredores   | El alumbrado en estas áreas podría permanecer encendido las 24 horas, por lo que uno eficiente puede ahorrar mucha energía.                                                                                                                                 | Las lámparas de LED son una excelente opción, aunque los tubos T8 y T5 de LED son también adecuados para estas zonas. Sustituir incandescentes por LED puede ahorrar hasta 80% de energía, con una recuperación de la inversión muy rápida, de menos 6 meses, debido a que operan 24 horas al día.         |
| Habitaciones            | Las habitaciones requieren un sistema de iluminación que garantice la comodidad para varias tareas visuales, entre ellas, leer, relajarse y ver televisión.                                                                                                 | Las bombillas LED en acabado cálido designadas como 2.700K -3500K ofrecen una cantidad y calidad de luz muy semejante a la de los bombillos incandescentes, pero utilizan hasta 85% menos de energía.                                                                                                      |
| Baños                   | El alumbrado en los baños debe brindar las condiciones apropiadas de decoración sin sombras y permitir que se vean los tonos de la piel y ropa lo más cercano posible a la realidad.                                                                        | Se utilizan bombillas LED tipo dicroica de escasamente 3-5 Watts. El ahorro de energía puede variar entre 70% y 90%.                                                                                                                                                                                       |
| Cocina                  | La zona de cocina debe estar bien iluminada para garantizar una preparación adecuada de los alimentos, minimizar el riesgo de accidentes y fomentar el orden y la limpieza.                                                                                 | Las lámparas fluorescentes T8 y T5 de LED son muy adecuadas para cocinas, que no tienen riesgos de rotura pues son bastante resistentes a impactos. En estas áreas deben preferirse lámparas con tonalidades de luz blanca azulada, designadas como 5.000K o más.                                          |
| Lavandería              | La zona de lavandería debe estar bien iluminada para minimizar el riesgo de accidentes y dar un buen mantenimiento a los equipos y aparatos electromecánicos.                                                                                               | En estas áreas deben preferirse lámparas LED T8 o T5, con tonalidades de luz blanca azulada, designadas como 5.000K o más. En lavandería pueden usarse luminarias abiertas tipo industrial.                                                                                                                |
| Espacios exteriores     | El alumbrado de exteriores debe crear una buena impresión para atraer a la gente y también dar una sensación de comodidad y seguridad.                                                                                                                      | Las lámparas de haluros metálicos (vapor de aditivos metálicos) y otras de alta intensidad de descarga (HID), como vapor de sodio alta presión, se pueden reemplazar con LED, ofrecen ahorros de energía de 75% a 90%                                                                                      |
| Recepción               | La recepción representa la atmósfera de un establecimiento. La iluminación en ella ayuda a destacar detalles decorativos y otras características de diseño de interiores.                                                                                   | Es muy importante seleccionar la potencia adecuada y un haz de luz que ofrezca el efecto deseado de acuerdo con el objeto por iluminar, considerando la distancia entre éste y la lámpara.                                                                                                                 |
| Salones de conferencias | Los salones de conferencias requieren diferentes niveles de iluminación para distintas ocasiones, desde las presentaciones de ventas hasta las recepciones de bodas y cumpleaños.                                                                           | Las lámparas LED atenuables (de intensidad variable) producen una luz blanca brillante que puede hacer resaltar los cristales, las porcelanas y los candelabros. Pueden combinarse con tubos LED T8 o T5 de aspecto cálido (3.500K) para dar niveles de iluminación altos, con muy bajo consumo de energía |
| Restaurantes y bares    | Las necesidades de iluminación en estas zonas varían según la ocasión (una atmósfera muy iluminada para reuniones o una a media luz para relajación).                                                                                                       | Se recomiendan las lámparas LED tipo dicroicas y balas atenuables en combinación con tubos T8 y T5 de color cálido a frío moderado, con el objeto de crear escenas según las necesidades, controlando el nivel de iluminación y el color de la luz. El ahorro de energía también puede superar el 80%.     |
| Áreas de apoyo          | Las áreas de apoyo –tales como salas para descanso del personal, áreas de almacenaje y espacio de oficinas– raras veces requieren iluminación 24 horas al día, pero por la naturaleza de sus usuarios, frecuentemente hay desperdicio de energía eléctrica. | Los tubos t5 t8 acabado blanco frío (designadas como 4.100K) son muy adecuadas. El uso de sensores de presencia puede ofrecer importantes ahorros de energía (hasta 50%, adicionales en algunos casos).                                                                                                    |
| Orientación             | Los rótulos de salida y otras señales de orientación que operan todo el día en un hotel son consumidores importantes de energía.                                                                                                                            | Los LED (diodo emisor de luz) son muy eficientes en estas aplicaciones, pues se pueden lograr ahorros de energía de hasta 90%, pudiendo durar hasta 10 años en operación continua, sin necesidad de reemplazo.                                                                                             |
| Bodegas                 | Las bodegas incorporan nuevas tecnologías y la iluminación no es la excepción. Una iluminación con las tecnologías adecuadas puede reducir sus costos de operación.                                                                                         | Hay lámparas de LED adecuadas para estos usos que ofrecen una excelente eficiencia lumínica y reducen considerablemente los gastos de mantenimiento pues por su larga vida no hay que cambiarlas con frecuencia en sitios de altura como bodegas y fábricas.                                               |

| Áreas               | Descripción/actividades                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Tipos recomendados de lámpara                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oficinas            | Los lugares de trabajo son entornos en que se desarrolla una gran variedad de tareas visuales y donde los empleados pasan la mayor parte del día con luz artificial. El uso de las pantallas de las computadoras requiere un reflejo mínimo y contrastes de luz para garantizar la calidad y seguridad visual de los trabajadores. | En estas áreas deben preferirse tubos LED T8 o T5, con tonalidades de luz blanca azulada, designadas como 5.000K o más, o plafones de LED que ofrecen una distribución de luz uniforme y de gran eficiencia.                                                                                      |
| Áreas de Producción | El propósito de la iluminación en una industria es proporcionar luz suficiente en cantidad y calidad para tener seguridad, visibilidad y productividad en un ambiente placentero.                                                                                                                                                  | Se pueden utilizar tubos LED T8 o T5 y, dependiendo del proceso y ambiente, también otras de alta intensidad como las luces viales o con diodos de alta potencia. En caso de que sea necesario, la iluminación localizada en el área de trabajo puede resultar una opción viable y más económica. |

### 3.1.2.1- Valoraciones y Ejemplos.

La empresa llamada “LUZ Y ENERGÍA” cuenta con un área de bodegas para almacenaje, debido a los elevados valores de la tarifa eléctrica, la empresa ha decidido desarrollar un proyecto de sustitución de luminarias, para esto, considera cambiar lámparas HID de 400W por luminarias tipo LED.

Para esto, la empresa ha desarrollado el siguiente procedimiento:

- Definir una luminaria LED capaz de sustituir la Luminaria tipo HID. Esto incluye básicamente los niveles de iluminación de la bodega.
- Desarrollo.

Con el procedimiento anterior, la empresa logra determinar que existe una lámpara LED que produce los niveles de iluminación actuales. Los resultados de la medición indica que:

- La luminaria LED especificada es de 175W.
- La tensión de operación es de 208V.
- La cantidad de luminarias necesarias es igual al de las HID actualmente instaladas.

Finalmente y con las mediciones correctas, es posible determinar los montos de inversión, la energía ahorrada y los indicadores financieros del proyecto. Para este caso, asumiremos los valores relacionados con este proyecto.

Conclusiones: Los resultados son claros y este tipo de proyecto tiene una rentabilidad aceptable. Este aspecto varia conforme a las condiciones del proyecto, pero, lo realmente importante es la correcta medición de los parámetros de operación.

Luego, la valoración financiera, determinará la factibilidad del proyecto específico. A pesar de que técnicamente sea posible desarrollar un proyecto de eficiencia energética, son los aspectos financieros los que realmente determinan si existe interés en continuar con el proceso de implementación.

En el caso específico, se han asumido algunas condiciones, como la tasa de oportunidad del proyecto. Es importante resaltar el hecho de que, si existe un préstamo de por medio, el comportamiento del flujo del préstamo deberá ser incluido en la corrida financiera.

Tabla 2

## Corrida Financiera de Iluminación.

## DATOS DE ENTRADA

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| ENERGÍA AHORRADA AL AÑO (kWh)                      | 19,710    |
| TARIFA (US\$/ kWh)                                 | 0.25      |
| CANTIDAD DE LUMINARIAS                             | 20        |
| MONTO DE INVERSIÓN INICIAL (US\$)                  | 13,824.88 |
| COSTO DE OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO (US\$ / AÑO) | 0.00      |
| VIDA ÚTIL DEL SISTEMA (AÑOS)                       | 10        |
| FONDOS                                             | Propios   |
| COSTO DE OPORTUNIDAD                               | 3%        |

| AÑO | AHORROS<br>(US\$) | GASTOS                         |                                        |                 | SALDO<br>(US\$) | ACUMULADO<br>(US\$) |
|-----|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|     |                   | INVERSIÓN<br>INICIAL<br>(US\$) | OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO<br>(US\$) | TOTAL<br>(US\$) |                 |                     |
| 1   | 4,927.50          | 13,824.88                      |                                        | 13,824.88       | -8,897.38       | -8,897.38           |
| 2   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | -3,969.88           |
| 3   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 957.62              |
| 4   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 5,885.12            |
| 5   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 10,812.62           |
| 6   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 15,740.12           |
| 7   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 20,667.62           |
| 8   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 25,595.12           |
| 9   | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 30,522.62           |
| 10  | 4,927.50          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 4,927.50        | 35,450.12           |
|     |                   |                                |                                        |                 | VAN             | L.11,357.53         |
|     |                   |                                |                                        |                 | TIR             | 51%                 |

Fuente: Elaboración Propia.

## 3.2. Eficiencia Energética en Motores Eléctricos—

### 3.2.1. Tipos y Aplicaciones<sup>4</sup>

Los motores de inducción son máquinas eléctricas, las cuales han tenido mayor aplicación en la industria y artefactos electrodomésticos. Estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (actualmente los motores de inducción consumen casi la mitad de la energía eléctrica generada).

Su uso es, principalmente, en calidad de mando eléctrico en la mayoría de los mecanismos, ello se justifica por la sencillez de su fabricación, su alta confiabilidad y un alto valor de eficiencia. Hay 2 tipos de motores de inducción; los de rotor de jaula de ardilla y los de rotor de anillos rozantes.

#### 3.2.1.1.- Principio de Funcionamiento

El motor de inducción está formado por dos sistemas de devanados, uno se coloca en el estator y el otro en el rotor. Entre el estator y rotor se tiene un entrehierro, cuya longitud se trata de, en lo posible, hacerlo pequeño (0.1 – 0.9 mm), con lo que se logra mejorar el acople magnético entre los devanados.

El devanado del estator puede ser monofásico o trifásico (en caso general polifásico). En lo sucesivo se analiza el motor trifásico, cuyas bobinas se colocan en las ranuras interiores del estator. Las fases del devanado del estator A o X, B o Y, C o Z se conectan en tipo estrella Y o triángulo, cuyos bornes son conectados a la red.

El devanado del rotor también es trifásico (o polifásico) y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en corto circuito. Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad (síncrona) es:

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot f}{p}$$

donde:

- f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- P: Número de pares de polos que tiene la máquina
- p: Número de polos que tiene la máquina
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

4/ Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia; Eficiencia en Motores Eléctricos.

Si el rotor está en reposo o su velocidad de sincronismo ( $n_{sinc}$ ), entonces el campo magnético giratorio traspasa los conductores del devanado rotórico e inducen en ellos una  $F_{em}$ <sup>5</sup>. Por la Regla de la mano derecha se puede deducir la dirección de la  $F_{em}$ , inducida en los conductores del rotor cuando el flujo magnético gira en sentido contrario. La componente activa de la corriente  $I_{rot}$ <sup>6</sup> se encuentra en fase con la  $F_{em}$ , inducida.

Sobre los conductores con corriente, empleados en el campo magnético, actúan fuerzas electromagnéticas cuya dirección se determina por la regla de la mano derecha; estas fuerzas crean un Momento electromagnético (MEImagn) que arrastra al rotor tras el campo magnético. Si este MEImagn es lo suficientemente grande entonces el rotor va a girar y su velocidad<sup>7</sup>  $n^2$  va a corresponder a la igualdad.

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia ( $P$ ). Parte de la  $P_1$  se consume (disipa) en la resistencia ( $R$ ) del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica ( $P_{el}$ ), así como una pérdida magnética en el campo del estator ( $P_{Mag}$ ), deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{EImagn} = P_1 - P_{elec} - P_{Mag}$$

### 3.2.1.2.- Relación entre eficiencia y deslizamiento en motores.

Para que un motor funcione en su régimen nominal con una alta eficiencia, es necesario que en este régimen se tenga un deslizamiento ( $s$ ) de pequeña magnitud. Por lo general  $s_{nom}$ <sup>8</sup> = 0.01 – 0.06, para ello el devanado del rotor lo diseñan de tal forma que tenga una resistencia óhmica pequeña.

### 3.2.1.3.- Sistemas de Fuerza.

En una planta industrial, se denomina sistema de fuerza al conjunto de todos los equipos e instalaciones que tiene por objeto realizar un trabajo mecánico y/o de producción. El equipo eléctrico que puede realizar trabajo mecánico es el motor eléctrico, y por lo tanto son estos equipos los principales dentro del proceso de producción. El sistema de fuerza a su vez, en una planta es alimentado con energía desde una subestación de distribución del servicio público de electricidad.

De lo sucintamente descrito se observan la importancia de las máquinas eléctricas en la industria. Cabe señalar que los sistemas de refrigeración y calefacción también forman parte del sistema de fuerza en una instalación eléctrica de tipo industrial. En el caso de los sistemas de uso residencial – comercial, el sistema de fuerza está conformado por los circuitos principales de iluminación, aire acondicionado y sistemas auxiliares (bombas, ascensores, etc.)

5/ Fuerza electromotriz.

6/ Corriente de rotor.

7/ Normalmente la velocidad de rotación se denomina como " $n$ "

8/ Deslizamiento nominal.

### 3.2.1.4.- Recomendaciones para mejorar el uso de motores eléctricos.

Existen varias opciones que permiten lograr el uso eficiente de la energía eléctrica en la aplicación de motores eléctricos y por lo tanto una reducción de los costos asociados al consumo de energía. La Figura 3 muestra alguna de estas opciones:

- a) Selección correcta de la potencia del motor;
- b) Mejorar la calidad de la energía eléctrica;
- c) Reducir la carga mecánica sobre el motor;
- d) Usar motores de alta eficiencia;
- e) Usar controladores electrónicos de velocidad;
- f) Aplicar métodos de mantenimiento centrados en la eficiencia, y;
- g) El usar métodos de reparación que mantengan la eficiencia del motor.

#### 3.2.1.4.1.- Selección correcta de la potencia del motor.

El primer paso para el ahorro de energía en motores eléctricos es que la potencia nominal del motor sea debidamente seleccionada. Se recomienda que la potencia nominal este sobredimensionada en 5 a 15% respecto a la potencia de operación del motor, con el objetivo de que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuados. Si el motor seleccionado está sobredimensionado por encima del 25% la potencia de operación, resultara que el factor de potencia del motor disminuirá, lo que incrementara la corriente del motor, aumentando las pérdidas en las líneas y el consumo de la potencia reactiva.

Los procedimientos para el cálculo de la potencia dependen del tipo de carga del motor, siendo el tipo más común de carga la de servicio continuo. Los tipos de servicio continuo pueden ser de carga constante o de carga variable. Para las cargas de servicio continuo con carga constante se recomienda seleccionar una potencia nominal de aproximadamente 15 % mayor a la carga constante del motor. Cuando la carga es de servicio continuo con carga intermitente para la selección de la potencia se pueden usar varios métodos de cálculo [7]: método de las pérdidas promedio, método de la corriente equivalente, método del momento equivalente y el método de la potencia equivalente.

#### 3.2.1.4.2.- Mejorar la calidad de la energía eléctrica de la instalación.

Los motores eléctricos de inducción están diseñados y fabricados para operar en las condiciones especificadas en la placa de características, llamadas condiciones nominales. Asimismo deben ser alimentados con un sistema trifásico simétrico de tensiones de forma de onda sinusoidal y de magnitud similar a la nominal, es decir el sistema debe tener una calidad de la potencia eléctrica perfecta.

Sin embargo los sistemas eléctricos industriales generalmente no presentan las condiciones ideales ni en simetría, forma de onda y magnitud es decir tiene una calidad de potencia eléctrica disminuida, los fenómenos de calidad de la potencia eléctrica que se presentan con mayor frecuencia son: tensión simétrica y de magnitud mayor o menor que la tensión de placa, tensión desequilibrada es decir las tres fases presentan magnitudes diferentes y forma de onda de la tensión distorsionada es decir no es una onda sinusoidal pura.

Si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es baja el motor operara con mayores pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Por lo tanto es importante se verifique el grado de calidad de la potencia eléctrica de las instalaciones eléctricas o en caso contrario se debe conocer las consideraciones a tomar en cuenta para la operación segura del motor.

**Mantener los Niveles de Tensión cercano al Valor Nominal:** Cuando el motor opera a potencia nominal es recomendable que la tensión del motor sea muy cercana al valor de la tensión nominal con una desviación máxima del 5%.

A pesar que los motores con Normas NEMA están diseñados para operar con una desviación máxima de 10% de la tensión nominal, las variaciones de tensión afectan significativamente la eficiencia, el factor de potencia y el tiempo de vida.

**Minimizar el Desequilibrio de Tensiones:** Los factores que crean el desequilibrio de tensión son: cargas monofásicas, cables de diferente calibre, fallas de circuitos, etc. Los sistemas desequilibrados incrementan las pérdidas en el sistema eléctrico industrial y en el motor, aumentan el calentamiento y reducen la eficiencia del motor. Por lo tanto para evitar fallas por calentamiento las Normas recomiendan operar el motor con una potencia menor a la potencia nominal.

#### 3.2.1.4.3.- Reducir la carga mecánica sobre el motor.

Cuando se analiza la eficiencia de un sistema accionado por un motor, una pregunta fundamental es si la carga que el motor mueve puede ser reducida o incluso si la operación de la carga aun es necesaria dentro del proceso productivo.

Sirve de muy poco optimizar el motor y sus controles, si la carga accionada y su proceso son ineficientes. Las recomendaciones para reducir la carga sobre el motor son:

Las bombas y los ventiladores constituyen más del 55% de las cargas usadas con motores de inducción, por lo tanto lograr que estas operen con la mayor eficiencia posible representa una buena opción para el ahorro de la energía. Se recomienda las siguientes acciones:

- a) Seleccione una bomba eficiente y que opere muy cerca de su presión y flujo de diseño nominal.
- b) Si la bomba opera muy por debajo de su carga nominal, instale un impulsor más pequeño o redimensione el que existe.
- c) Minimice el número de codos agudos en la tubería.
- d) Use tuberías de baja fricción y considere cambiar las tuberías viejas.
- e) Realice periódicamente el mantenimiento a las bombas, sin mantenimiento la eficiencia puede caer en 10% respecto al valor de eficiencia nominal.
- f) Seleccione ventiladores eficientes.
- g) Realice un mantenimiento periódico de los ventiladores, por ejemplo limpie regularmente las aspas y mantenga los filtros limpios para reducir las caídas de presión.
- h) Instale un control para activar el ventilador solo cuando sea necesario.
- i) Si es posible reduzca la velocidad variando los diámetros de las poleas.

#### 3.2.1.4.4.- Usar motores eléctricos de alta eficiencia.

Los motores eléctricos de alta eficiencia, son motores de diseño y construcción especial que presentan menos pérdidas que los motores eléctricos estándares. Una menor pérdida de potencia hace que el motor tenga una mayor eficiencia es decir que consuma menos energía para realizar el mismo trabajo que un motor normal.

Los estudios técnicos y económicos muestran que si se analiza a 10 años, de los costos totales del motor el costo de compra es de 1%, el costo de la energía es de 95 %, costo de mantenimiento 3

%, el costo de ingeniería y logística 1%. Así el costo de compra del motor es poco significativo respecto al costo total de operación, por eso al seleccionar motores eléctricos debemos de considerar además del costo inicial de compra el análisis económico de la operación.

A continuación presentaremos las ventajas y limitaciones que tienen estos motores, para ser considerados para su correcta aplicación:

- a) Son normalmente más robustos y mejor contruidos que los motores estándar, lo que traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- b) Al tener una eficiencia mayor, se disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal.

Limitaciones de los Motores de Alta Eficiencia:

- a) Como operan a una velocidad mayor que los motores estándares, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.
- b) El momento de arranque puede ser menores que los motores estándares, cuestión que resulte necesario analizar detalladamente en cada aplicación.
- c) La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de tensión en la red en el momento de arranque.
- d) La corriente transitoria en el arranque se incrementa debido a un mayor valor de la relación X/R. Esta corriente puede afectar el disparo instantáneo del interruptor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.
- e) El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar en el intervalo de 15 a 40 HP.

Recomendaciones para la Aplicación de Motores de Alta Eficiencia: Cuando se considera la posibilidad de compra de un motor nuevo se debe evaluar económicamente la rentabilidad de pagar un costo adicional por adquirir un motor de alta eficiencia frente al ahorro obtenido por un menor consumo energético.

Generalmente se considera que 2 a 3 años es un periodo aceptable de retorno de la inversión adicional. Luego de realizar un análisis económico se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- a) En los motores entre 10 y 75 HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
- b) En los motores de potencia menor a 10 HP o mayor a 75 HP cuando operan 4500 horas o más.
- c) Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- d) Cuando se aplican conjuntamente con Variadores electrónicos de frecuencia (Variable Frequency Drives) para accionar bombas y ventiladores.

#### 3.2.1.4.5.- Usar variadores de velocidad.

Es importante que el motor y el equipo operen en su punto óptimo de operación, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación de la carga sea la que corresponda a su eficiencia máxima. Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los reguladores de tensión y los variadores electrónicos de velocidad.

Usando Reguladores de Tensión: Estos equipos electrónicos al trocear la onda de tensión disminuyen el tensión eficaz aplicado al motor cuando este disminuye su carga; es decir la tensión aplicada al motor depende de la carga del motor de tal forma que el motor opere con un factor de potencia constante, esto a su vez aumenta la eficiencia del motor.

Generalmente el rango de tensión que estos equipos pueden variar entre el 60% al 100% la tensión nominal. El uso de estos equipos es recomendable cuando la carga del motor variar desde vacío o desde una carga leve hasta plena carga. Por ejemplo bandas transportadoras, centrifugas, aserraderos, molinos de piedra.

El ahorro de energía que se logra es considerable si el motor opera en vacío o con carga leve por un tiempo del 75% el tiempo de operación; otro punto importante del regulador de tensión es que mejora el factor de potencia del motor.

Usando Variadores Electrónicos de Velocidad: El punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente no ocurre a la velocidad nominal del motor ni a la tensión nominal del motor, más bien este punto se encuentra a una velocidad diferente a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Actualmente los variadores electrónicos de velocidad (VFD Variable Frequency Drives) permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación.

Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo sin necesidad de recurrir a opciones antieconómicas, que demandan más energía de la requerida o que son impracticables en muchos casos; como es el caso de: la recirculación del fluido, la estrangulación del caudal mediante válvulas (throttle) y la detención del equipo (On-off). Estos dispositivos permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración, en relación a los motores que no disponen de este dispositivo.

#### 3.2.1.4.6.- Usar métodos de mantenimiento centrados en la eficiencia.

Evaluar la Eficiencia de los Motores Eléctricos en Sitio: Una práctica importante en el ahorro de energía es evaluar la potencia y la eficiencia de operación de los motores eléctricos.

El conocimiento de la potencia entregada y la eficiencia de operación permitirán luego poder tomar acciones correctivas para aumentar la eficiencia de operación. Estas mediciones deben realizarse sin perturbar el proceso productivo, entre los métodos más usados para determinar la eficiencia de operación en sitio, están:

- a) Método de la placa;
- b) Método de la corriente,
- c) Método del deslizamiento, y;
- d) Método de evaluación de pérdidas.

Si el motor está operando con una carga menor al 80% la potencia nominal tendrá un factor de potencia bajo por lo que será preciso evaluar el cambio por un motor nuevo o por otro motor de menor potencia nominal. Si se encuentra que la eficiencia del motor es muy baja se recomienda evaluar económicamente la posibilidad de cambiarlo por un motor de alta eficiencia o de eficiencia estándar.

**Reparación Eficiente de los Motores Eléctricos:** Los estudios muestran que el rebobinado del motor mediante técnicas inadecuadas reduce la eficiencia del motor entre 2 % a 4%. Es preciso exigir que los motores sean rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado.

**Remplazando los Motores en Lugar de Rebobinarlos:** Cuando un motor falla y debe ser reparado es importante determinar si es conveniente repararlo o remplazarlo por un motor de alta eficiencia. Es importante considerar que la eficiencia del motor cae en cada reparación, si esta es inadecuada, por lo que es importante conocer la eficiencia del motor fallado.

### 3.2.1.4.7.- Valoraciones y ejemplo.

La empresa llamada "ESPERANZA" cuenta con un proceso productivo que utiliza un motor eléctrico para extraer aire de un grupo de tuberías conectadas a una serie de maquinaria como ser: lijadoras y pulidoras. Debido a algunas variaciones en el uso de la maquinaria, la empresa ha decidido estudiar el comportamiento del consumo de energía eléctrica y así poder determinar un posible proyecto de eficiencia energética.

Para esto, la empresa ha desarrollado el siguiente procedimiento:

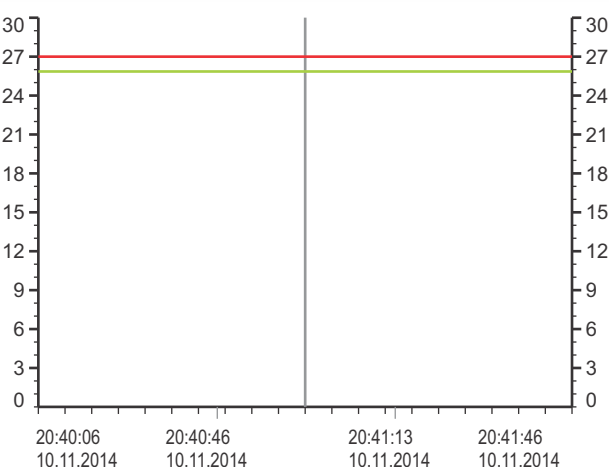
- Instaló un analizador de redes, para determinar los valores de comportamiento del sistema completo, estos es, todos los motores que son utilizados en el proceso.
- También, se ha medido el comportamiento de la presión en la tubería. De esta forma, es posible definir si esta se mantiene constante durante todo el proceso o existen variaciones importantes que permitan valorar la variación en la velocidad del motor principal y así, disminuir el consumo de energía eléctrica.

**Desarrollo:** Con el procedimiento anterior, la empresa logra determinar que durante la operación a plena carga, la presión del sistema es de 27 PSI (Figura 12). Dicho valor varía conforme a la cantidad de lijadoras o pulidoras que están operando en un mismo momento.

En algunos momentos del día los operarios de la maquinaria, se retiran por distintos motivos, no necesariamente todos al mismo tiempo; estas variaciones hacen que la presión tiendan a subir, produciendo desde el punto de vista eléctrico, un consumo innecesario de energía eléctrica.

**Figura 11**

**Comportamiento del Sistema en Condiciones Nominales.**

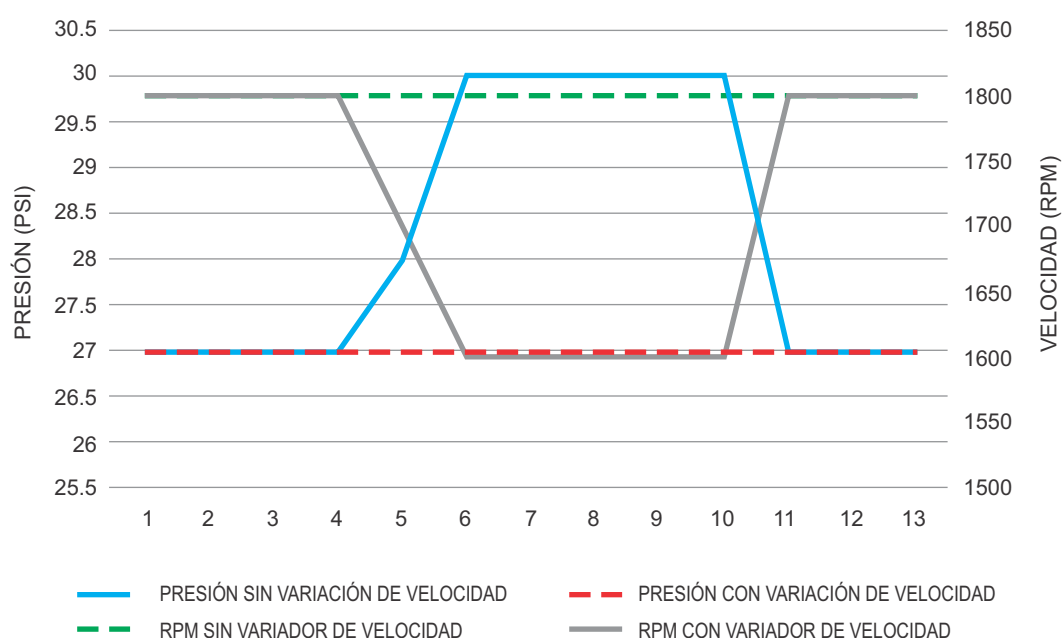


Fuente: Elaboración propia.

Para ampliar la explicación, la figura 13 muestra el comportamiento medido del motor principal<sup>9</sup>. Los datos de potencia y velocidad del motor han sido medidos en el mismo periodo de tiempo.

**Figura 12**

**Comportamiento de la presión y las revoluciones del motor principal.**



Fuente: Elaboración Propia.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la presión nominal del sistema es de 27 PSI, pero, cada vez que un operador se retira de sus labores, la presión se incrementa innecesariamente, este incremento puede ser eliminado si se disminuye la velocidad del motor. Por esto, se propone la instalación de un variador de velocidad conectado a un sistema de medición de presión que permita brindar los datos de entrada al variador.

Para el caso, se produce un incremento de 27 PSI a 30 PSI, de esto, el sistema de medición detecta el incremento y por medio del variador, reduce la velocidad del motor para llevar la presión nuevamente a 27 PSI. Esta disminución en la velocidad de 1,800 RPM a 1,600 RPM produce un ahorro de energía eléctrica.

Finalmente y con las mediciones correctas, es posible determinar los montos de inversión, la energía ahorrada y los indicadores financieros del proyecto. Para este caso, asumiremos los valores relacionados con este proyecto.

9/ Se refiere al motor principal como el único motor instalado en el extractor de aire.

**Tabla 3****Corrida Financiera de Motores.****DATOS DE ENTRADA**

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| ENERGÍA AHORRADA AL AÑO (kWh)                      | 4,000    |
| TARIFA (US\$/ kWh)                                 | 0.25     |
| MONTO DE INVERSIÓN INICIAL (US\$)                  | 2,000.00 |
| COSTO DE OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO (US\$ / AÑO) | 100.00   |
| VIDA ÚTIL DEL SISTEMA (AÑOS)                       | 5        |
| FONDOS                                             | Propios  |
| COSTO DE OPORTUNIDAD                               | 3%       |

| AÑO | AHORROS<br>(US\$) | GASTOS                         |                                        |                 | SALDO<br>(US\$) | ACUMULADO<br>(US\$) |
|-----|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|     |                   | INVERSIÓN<br>INICIAL<br>(US\$) | OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO<br>(US\$) | TOTAL<br>(US\$) |                 |                     |
| 1   | 1,000.00          | 2,000.00                       |                                        | 2,000.00        | -1,000.00       | -1,000.00           |
| 2   | 1,000.00          |                                | 100.00                                 | 100.00          | 900.00          | -100.00             |
| 3   | 1,000.00          |                                | 100.00                                 | 100.00          | 900.00          | 800.00              |
| 4   | 1,000.00          |                                | 100.00                                 | 100.00          | 900.00          | 1,700.00            |
| 5   | 1,000.00          |                                | 100.00                                 | 100.00          | 900.00          | 2,600.00            |
|     |                   |                                |                                        |                 | VAN<br>TIR      | L. 831.20<br>63%    |

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados son claros y este tipo de proyecto tiene una rentabilidad aceptable. Este aspecto varía conforme a las condiciones del proyecto, pero, lo realmente importante es la correcta medición de los parámetros de operación.

Luego, la valoración financiera, determinará la factibilidad del proyecto específico. A pesar de que técnicamente sea posible desarrollar un proyecto de eficiencia energética, pero, los aspectos financieros son los que realmente determinan si existe interés en continuar con el proceso de implementación.

### 3.3.1 Transformadores.

La energía eléctrica es una de las formas de energía que mejor se puede transportar a grandes distancias. Se puede obtener de diversas fuentes primarias de energía y es la que más usos y aplicaciones ofrece en la vida cotidiana.

Sin embargo para que se cumpla lo anterior es indispensable disponer un sistema interconectado mediante el cual nos sea posible generar la energía, transportarla y distribuirla a todos los usuarios en forma eficaz, segura y con calidad.

En este sistema la energía eléctrica, desde su generación hasta su entrega en los puntos de consumo, pasa por diferentes etapas de adaptación, transformación y maniobra. Para la correcta operación del sistema son necesarios equipos que sean capaces de transformar, regular, maniobrar y proteger.

El sistema eléctrico debe cumplir con la tarea de generar energía eléctrica en los lugares más idóneos para tal fin, transformar esa electricidad a unas características propicias para transportarla grandes distancias, transformarla nuevamente para poder ser distribuida en los centros de consumo y finalmente adaptarla a valores aptos para los usuarios. El sistema eléctrico está compuesto por los siguientes elementos:

- a) Centrales generadoras de energía.
- b) Estaciones transformadoras elevadoras.
- c) Líneas de transporte.
- d) Subestaciones de transformación reductoras.
- e) Subestaciones de distribución.
- f) Red de distribución primaria.
- g) Centros de transformación.
- h) Red de distribución secundaria.

Actualmente los sistemas operan con energía eléctrica en forma de corrientes alternas trifásicas, esto es debido a su facilidad para modificar las tensiones de transporte por medio de transformadores. Otra razón para el uso de corrientes alternas trifásicas es la simplicidad de los generadores y transformadores que trabajan con este tipo de corrientes, así mismo resulta también más sencilla y económica la transmisión y la distribución de este tipo de corrientes.

La generación de energía eléctrica, es decir, hidráulicas, térmicas, nucleares, eólicas, solares, se logra generalmente a niveles de tensión menores a los 30 kV, el generar a mayores tensiones sería más costoso debido a las dimensiones y al aislamiento necesario en los generadores; esta tensión no es la más apropiada para el transporte a largas distancias a causa de las pérdidas que se producirían en los conductores, por lo que es necesario instalar transformadores elevadores.

Las estaciones transformadoras elevadoras tienen por función elevar la tensión de generación a la tensión de transmisión (138-230 kV). Esto debido a que generalmente las centrales se encuentran alejadas de los grandes centros de consumo, así que debe ser transportada. Con el fin de que el transporte se haga con las menores pérdidas y la instalación de las líneas de transmisión resulte más económica se elevan las tensiones de generación a estos rangos.

Esta elevación de tensión justo después de su generación implica tener valores de corriente bajos para una potencia determinada, y no provocar pérdidas elevadas en la impedancia propia de la línea de transmisión. Centros de consumo, se hace entonces necesaria una reducción de la tensión en valores como 69 kV.

Frecuentemente estas subestaciones realizan la misión de interconexión entre distintas líneas de transmisión, con la intención de formar anillos en áreas de consumo importante y asegurar la continuidad en el servicio ante la presencia de fallas en alguna de estas subestaciones; en estos casos las subestaciones reductoras cumplen también con la función de maniobra.

Las subestaciones de distribución transforman los valores de tensión de las redes de distribución primarias a valores de distribución en media tensión, 13 o 34.5 kV. La red de distribución es un componente del sistema de suministro, siendo responsabilidad de las compañías distribuidoras. La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas. La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 13.8 y 230 kV.

Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión. La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 13.8 a 34.5 kV y con una disposición en red radial.

Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (240/4,160 V).

Interruptores, pararrayos antena, pararrayos auto válvulas y protecciones secundarias asociadas a transformadores de medida, como son relés de protección. El transformador es una máquina eléctrica estática, que transforma energía eléctrica, con una tensión e intensidad determinada, en energía eléctrica con tensión e intensidad distintas o iguales.

Los transformadores son básicamente, circuitos magnéticos con dos bobinas que convierten energía eléctrica de un nivel de tensión y corriente a otro nivel de tensión y corriente diferente, gracias al distinto número de vueltas de cada uno de los devanados y al flujo común, variable en el tiempo, que ambos enlazan. Estas características lo hacen indispensable en aplicaciones de transmisión y distribución de energía eléctrica en corriente alterna.

El transformador de dos devanados se denomina monofásico, y es el más elemental. En circuitos de potencia trifásicos se usan bancos de tres transformadores monofásicos o bien transformadores trifásicos.

Un transformador está constituido por dos circuitos eléctricos acoplados mediante un circuito magnético. El funcionamiento del transformador se basa en la Ley de inducción de Faraday, de manera que un circuito eléctrico influye sobre el otro a través del flujo generado en el circuito magnético.

Al conectar el devanado primario a una corriente alterna, se establece un flujo magnético alterno dentro del núcleo. Este flujo atraviesa el devanado secundario induciendo una fuerza electromotriz en el devanado secundario. A su vez, al circular corriente alterna en el secundario, se contrarresta el flujo magnético, induciendo sobre el primario una fuerza contra electromotriz.

Los circuitos eléctricos están formados por bobinas de hilo conductor, normalmente cobre. Estas bobinas reciben el nombre de devanados y, comúnmente se les denomina devanado primario y secundario del transformador. El bobinado primario con "N1" espiras es aquel por el cual entra la energía y el secundario con "N2" espiras es aquel por el cual se suministra dicha energía.

Estos bobinados están aislados entre sí, y con el núcleo. Los materiales aislantes para el bobinado, o para colocar entre capas, son: papel barnizado, fibra, micanita, cinta impregnada, algodón impregnado, etc., para transformadores con bobinados al aire, y para los sumergidos en baños de aceite, se utilizan los mismos materiales sin impregnarse; debe evitarse el uso del caucho en los transformadores en baño de aceite, pues este lo ataca, y tiene efectos nocivos también sobre la micanita y aun sobre los barnices.

Las piezas separadoras entre bobinados, secciones, o entre estas y el núcleo pueden ser de madera, previamente cocida en aceite, aunque actualmente se prefieren los materiales duros a base de papel o similares (pertinax, etc.). Si se usa madera, no debe interpretarse como que se dispone de aislación, sino solamente de un separador.

En cuanto a los conductores para hacer bobinas, su tipo depende de la sección, pues hasta 6 mm<sup>2</sup> pueden usarse alambre y más arriba de ese límite se usan cables de muchos hilos, o bien cintas planas, para facilitar el bobinado. El aislamiento para los conductores puede ser algodón, que luego se impregnará si no se emplea baño de aceite.

La disposición de los devanados en los transformadores, debe ser hecha de tal forma, que se concilien en la mejor forma las dos exigencias, el aislamiento y de la menor dispersión del flujo. La primera requiere de la mayor separación entre devanados, en tanto que la segunda, requiere que el primario se encuentre lo más cercano posible del secundario.

En la práctica, se alcanza una solución conveniente del problema con la siguiente disposición de los devanados: - Concéntricos: En el tipo concéntrico, cada uno de los devanados está distribuido a lo largo de toda la columna, el devanado de tensión más baja se encuentra en la parte interna (más cercana al núcleo) y aislado del núcleo, y del de tensión más elevada, por medio de tubos aislantes (cartón baquelizado, baquelita, etc.).

En la disposición de concéntrico doble, el devanado de tensión más baja se divide en dos mitades dispuestas respectivamente al interior y al exterior uno de otro. Cada uno en una cinta número de bobinas que están dispuestas en las columnas en forma alternada. Las consideraciones que orientan desde el punto de vista de diseño, la disposición de los devanados, son aquellos referentes al enfriamiento, el aislamiento, la reactancia de dispersión y a los esfuerzos mecánicos.

El llamado concéntrico doble tiene la prerrogativa de dar lugar a la reactancia de dispersión con valor de alrededor de la mitad de aquel relativo al concéntrico simple. El tipo alternado, en cambio, permite variar tales reactancias, repartiendo en forma distinta las posiciones de las bobinas de los dos devanados. Para los esfuerzos mecánicos son mejor las disposiciones de tipo alternado, pues permite que el transformador soporte mejor los esfuerzos mecánicos.

El circuito magnético está constituido por chapa magnética de acero aleado a base de Si (3-5%), generalmente de grano orientado laminada en frío, esta laminación tiene la propiedad de tener pérdidas relativamente bajas por los efectos de la histéresis magnética y las corrientes de Foucault.

Un espesor típico de la chapa es 0.35 mm. La sección de las columnas y culatas no es rectangular; tampoco es circular, aunque se aproxima a esta geometría a base de una disposición por escalones. Las capas van aisladas entre sí mediante un barniz o un tratamiento termoquímico de nombre comercial carlite.

En los núcleos magnéticos de los transformadores tipo columna se distinguen dos partes principales: las columnas y los yugos. En las columnas se alojan los devanados y los yugos unen entre sí a las columnas para cerrar el circuito magnético.

Debido a que las bobinas se deben montar bajo un cierto procedimiento y desmontar cuando sea necesario por trabajos de mantenimiento, los núcleos que cierran el circuito magnético, terminan al mismo nivel en la parte que está en contacto con los yugos, o bien con salientes, en ambos casos los núcleos se arman con juegos de laminaciones para columnas y yugos que se arman por capas de arreglos "pares" e "impares". Cuando se han armado los niveles a base de juegos de laminaciones colocadas en "pares" e "impares" el núcleo se sujeta usando tornillos opresores y separa por medio de los tornillos tensores.

En los transformadores pequeños se colocan las chapas una a una, alternando las juntas, para dar más solidez al conjunto y evitar piezas de unión entre partes del núcleo. En los grandes, las dos cabezas quedan separadas, y deben sujetarse con pernos roscados.

En los transformadores de gran potencia suele ser necesario formar conductos de refrigeración en la masa del núcleo, para aumentar la superficie de disipación del calor se colocan entonces separadores aislantes, de espesor conveniente para la circulación del aceite. El circuito magnético o núcleo, constructivamente, puede ser:

- a) De columnas: Dos columnas (para un trafo monofásico), sobre las que se arrollan los devanados. Existen distintos tipos de núcleos tipos columna, que está caracterizado por la posición relativa de las columnas y de los yugos.
- b) Núcleo monofásico: Se tienen dos columnas unidas en las partes inferior y superior por medio de un yugo, en cada una de estas columnas se encuentran incrustadas la mitad del devanado primario y la mitad del devanado secundario.
- c) Núcleo trifásico: Se tienen tres columnas dispuestas sobre el mismo plano unidas en sus partes inferior y superior por medio de yugos.

Sobre cada columna se incrustan los devanados primarios y secundarios de una fase. Las corrientes magnetizantes de las tres fases son distintas entre sí, debido principalmente a que el circuito magnético de las columnas externas es más largo que el correspondiente a la columna central. Este desequilibrio, teniendo en cuenta que la corriente de vacío es bastante baja, tiene influencia solamente para las condiciones de operación en vacío.

- d) Acorazado: Tres columnas, o sea, dos ventanas. Sobre la columna central, que tiene como sección el doble de las laterales, se disponen los devanados. Los dos bobinados se ubican en la rama central, logrando con este sistema reducir el flujo magnético disperso de ambos bobinados, colocando generalmente el bobinado de baja tensión en la parte interna y el de mayor tensión rodeando a este en la parte externa.

Este tipo de núcleo acorazado, tiene la ventaja con respecto al llamado tipo columna, de reducir la dispersión magnética, su uso es más común en los transformadores monofásicos. En el núcleo acorazado, los devanados se localizan sobre la columna central, y cuando se trata de transformadores pequeños, las laminaciones se hacen en troqueles.

Las formas de construcción pueden ser distintas y varían de acuerdo con la potencia. Además de los circuitos eléctricos y magnéticos, el transformador se compone de cuba, fluido refrigerante, radiadores, elementos de protección a la conexión y terminales.

Los sistemas de aislamiento usados en transformadores de potencia pueden ser líquidos, gaseosos y sólidos. Los sistemas líquidos incluyen aceite, que es el más usado. Los sistemas gaseosos incluyen nitrógeno, aire y gases fluorados (por ejemplo, hexafluoruro de azufre). Los gases fluorados se usan para evitar la combustibilidad y limitar los efectos secundarios de defectos internos. El aislamiento que separa el devanado de alta tensión del devanado de baja tensión, soporta la tensión más elevada y ocupa el espacio más limitado; por esta razón, generalmente funciona con las solicitaciones más elevadas.

Según la construcción, puede utilizarse el aislamiento de capas o el aislamiento de bobinas entre las distintas secciones de los devanados. El aislamiento de espiras se aplica a cada cable del conductor o a grupos de cables que formen una espira única.

Transformadores con aislamiento de aceite: El bajo costo, la elevada rigidez dieléctrica y la posibilidad de recuperación aun después de estar sometidos a solicitaciones dieléctricas excesivas, hacen del aceite mineral el material aislante más ampliamente usado en transformadores.

El aceite se refuerza con aislamientos sólidos de varias maneras; generalmente presenta barreras de aislamiento sólido alternando con espacios con aceite. El esfuerzo sobre el aceite es del 50 al 100% superior que el esfuerzo sobre el aislamiento sólido, debido a la constante dieléctrica relativamente baja del aceite.

Por consiguiente, la sollicitación del aceite limita la rigidez de la estructura. Los pequeños conductos de aceite pueden soportar sollicitaciones más altas que los grandes conductos. Así barreras sólidas, convenientemente espaciadas, permiten una mejor utilización del espacio.

El aislamiento entre bobinas adyacentes generalmente es sólido, para proporcionar un soporte mecánico y dar una rigidez dieléctrica relativamente elevada respecto a las tensiones transitorias elevadas de corta duración. El aislamiento sólido a veces se usa entre capas de un devanado o entre devanados. El aislamiento sólido de gran espesor se usa en los terminales de alta tensión en zonas de concentración de esfuerzos dieléctricos.

La constante dieléctrica relativamente elevada del material sólido hace que la sollicitación del sólido sea sólo la mitad o las dos terceras partes de la que habría si el aceite ocupara el mismo espacio. La mayoría de materiales de aislamiento sólido usados en los transformadores de potencia son porosos, permitiendo eliminar, mediante el vacío, los gases y agua vaporizada, así como conseguir el relleno de todas las cavidades e intersticios con aceite.

Cualquier pequeña cantidad de gas dejada inadvertidamente en el campo dieléctrico sufre una elevada sollicitación dieléctrica (dos veces la que tendría el aceite) debido a la baja constante dieléctrica del gas. Como el gas encerrado, además de estar sometido a esfuerzos dieléctricos elevados, tiene una rigidez dieléctrica baja como consecuencia se tiene una pérdida importante de rigidez dieléctrica. Los materiales sólidos usados frecuentemente, incluyen el papel impregnado con aceite, el papel impregnado con resinas, el cartón prensado, el algodón, la madera tratada con aceite al vacío y los esmaltes. Las pérdidas en los devanados, en el núcleo, y en otros elementos motivan el calentamiento del transformador, los cuales, hemos de evitar.

Los principales medios refrigerantes que se utilizan, en contacto con los arrollamientos, son el aire y aceite mineral. El uso del aceite, frente al aire, está justificado dado que tiene una mejor conductividad térmica y posee un mayor calor específico. La función del aceite es doble, actúa como aislante y como agente refrigerante. La rigidez de los aceites usados suele ser del orden de los 200 kV/cm. Básicamente se trata de una mezcla de hidrocarburos. El aceite cobra un especial interés en los casos en el que el transformador se vea sometido a sobrecargas pasajeras. La parte activa del transformador suele ir sumergida en aceite, esta parte está en el interior de un tanque o caja. Esta caja puede tener una superficie de refrigeración considerable, compuesta por tubos, o con radiadores adosados. Este sistema de refrigeración, puede efectuarse por convección natural, o bien forzada (mediante ventiladores que activen la circulación en el caso de refrigeración por aire, y de bombas en el caso del aceite, que mediante un circuito cerrado puede a su vez enfriarse mediante la acción por ejemplo de otra circulación de agua).

La potencia de un transformador viene limitada por su valor máximo de calentamiento, por tanto, la ventilación forzada puede ser un medio eficaz para aumentar la potencia. Sin embargo, el principal problema de la refrigeración en los transformadores, y de las maquinas en general,

aumenta en dificultad a medida que crecen las potencias. A medida que aumentan las potencias, la caja, los tubos de ventilación, todo debe crecer. Existen también transformadores indicados para aquellos casos en que la máxima potencia sólo se suministra durante unas horas. En esas horas, se efectuará una ventilación forzada, mientras, en horario de servicio normal, sólo se necesita una ventilación natural.

### 3.3.1.1.- Principio de Funcionamiento.

El funcionamiento del transformador se basa en los fenómenos de inducción electromagnética (producción de f.e.m. por variación de flujo en un circuito estático o por corte de flujo en un circuito en movimiento). Un transformador elemental está formado por un núcleo de chapas magnéticas, al que rodean los devanados primario y secundario.

Al conectar el devanado primario a una red de c.a.<sup>10</sup>, se establece un flujo alterno en el circuito magnético que, a su vez, inducirá las Fem.  $E_1$  y  $E_2$ , en los dos devanados del transformador. EN VACÍO: Al aplicar una tensión alterna  $V_1$  en el primario (con secundario abierto), circula una corriente alterna  $i_0$  por él y establece el flujo alterno que concatena a  $N_1$  y  $N_2$ , induciendo una Fem ( $E_2$ ) en el secundario, que por estar en vacío,  $E_2 = V_2$ .

En el primario, se auto induce la Fuerza contra electromotriz<sup>11</sup> ( $F_{cem}$ ). Dicha fuerza, denominada  $-E_1$ , se opone a la tensión aplicada  $V_1$ . Debido a que el hierro presenta una menor reluctancia que el aire, flujo magnético  $\Phi_0$  sigue en su mayoría, el circuito ferromagnético. Las líneas de campo que se cierran a través del aire (espacios entre el núcleo y las bobinas) y que no aportan al flujo principal, constituye el flujo disperso  $\Phi_d$ .

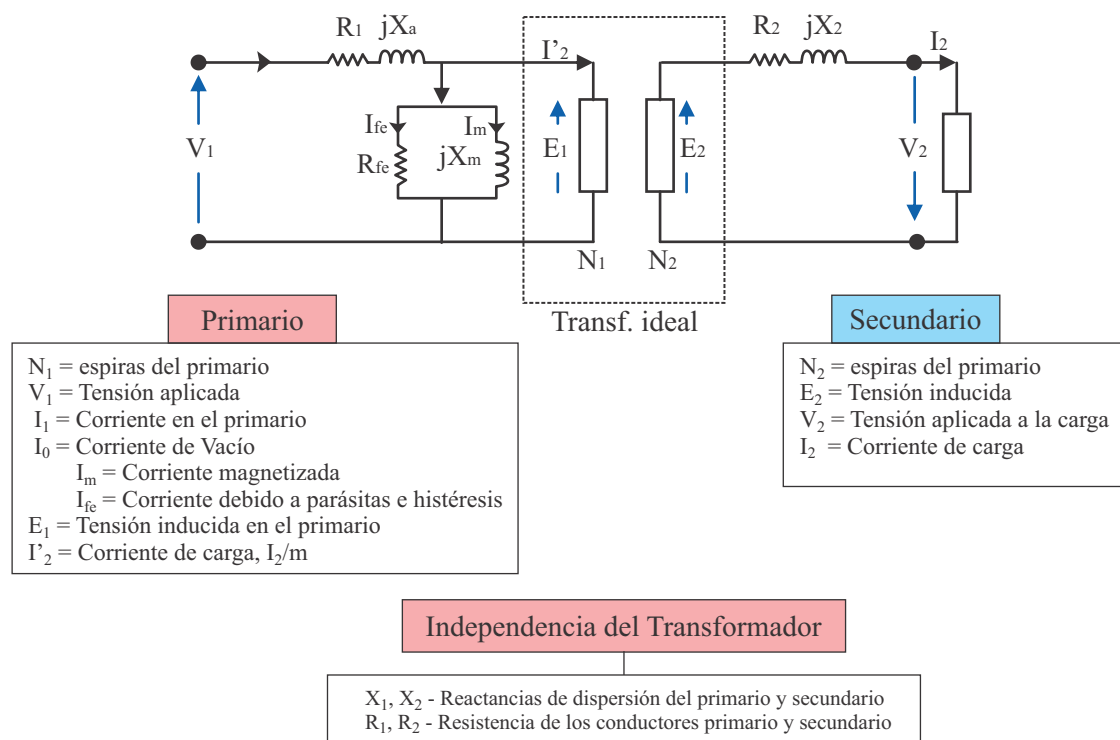
Finalmente, la corriente  $i_0$  que produce los flujos mencionados anteriormente, está compuesta por la corriente magnetizante  $i_m$  y la corriente por pérdidas magnéticas en el hierro  $i_{fe}$ . Como expresión matemática  $i_0 = i_m + i_{fe}$

10/ Corriente alterna.

11/ Fuerza contra electromotriz.

Figura 13

Circuito equivalente de un transformador.



Fuente: <https://www.google.hn/search?q=transformador+ideal&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=0CCI0sARqFQoTCI7Zj8eTr8cCFccVHgodT0oMeA#imgsrc=gGatc9TBlr5uaM%3A>

EN CARGA: Al cerrar el secundario a través de una carga  $Z$ , circulará la corriente  $i_2$  generando en el arrollamiento secundario un flujo, oponiéndose a la causa que lo produce o sea, al flujo principal, por lo que tenderá a disminuirlo y por consiguiente a  $-E_1$ . Esta disminución de la Fem primaria origina un aumento en la corriente primaria a  $i_1 = i_0 + i'_2$ , donde la  $i'_2$  es la corriente  $i_2$  referida o reflejada en el primario. En relación a los flujos, el primario reacciona a esta disminución con un flujo de igual magnitud que pero que se adiciona al flujo principal; entonces el flujo principal o flujo concatenante se mantiene igual tanto en carga como en vacío.

### 3.3.1.2.- Transformador Real.

En el transformador real han de tenerse en cuenta:

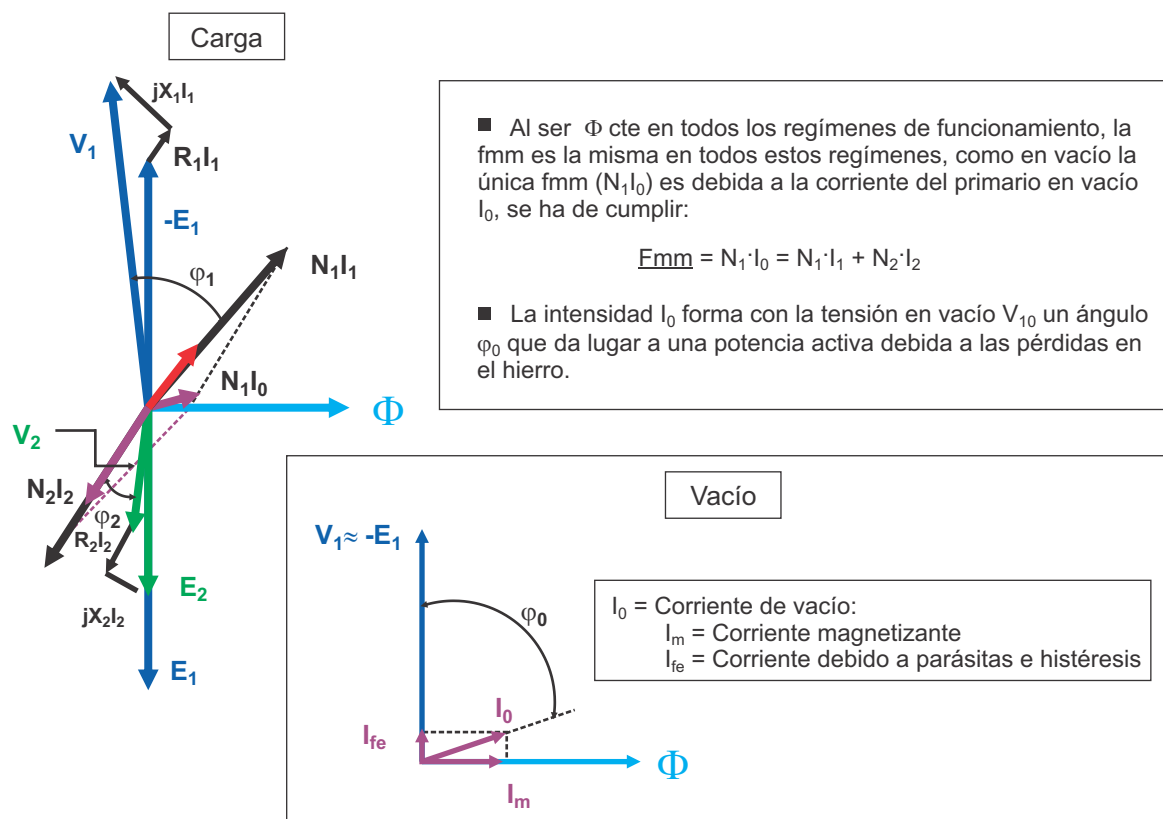
- El flujo no es común a lo largo del circuito magnético, debido a la existencia de flujos disperso, tanto en el primario como en el secundario.
- La resistencia óhmica de los devanados no es despreciable, por lo que habrá de tenerse en cuenta.
- El núcleo del transformador está formado por un apilado de chapas magnéticas, que motivarán unas pérdidas en el hierro. Flujo disperso: En el transformador ideal se suponía la existencia de un solo flujo a lo largo del circuito magnético; sin embargo, existe un flujo disperso en el primario y otro en el secundario debidos a las corrientes primarias y secundarias, respectivamente.

**Determinación de las pérdidas en el Cobre:** En el ensayo en cortocircuito circulan las intensidades nominales por ambos devanados y, por ello, se producen las pérdidas en el cobre nominales. Las pérdidas en el cobre son  $R_1 \cdot I_1^2$  en el devanado primario, y  $R_2 \cdot I_2^2$  en el devanado secundario, pudiendo agruparlas: Para medir las pérdidas en el cobre de un transformador será necesario intercalar un vatímetro en el primario, estando el secundario en cortocircuito, y restarle, a la lectura del aparato, las pérdidas en el hierro y las adicionales, producidas por distorsión de flujo, corrientes parásitas.

En la práctica, debido al escaso valor que toman las pérdidas en el hierro, puesto que la tensión aplicada  $V_{cc}$  es del orden del 5%, se desprecian. Lo mismo sucede con las pérdidas adicionales. El vatímetro  $W_{cu}$  conectado al primario indicará las pérdidas en el cobre nominales del transformador, por circular la corriente nominal. **Determinación práctica de los parámetros  $R_{cc}$ ,  $X_{cc}$ ,  $Z_{cc}$ :** Un procedimiento sencillo para determinar la impedancia interna de un transformador lo proporciona el ensayo en cortocircuito, a través de sus aparatos de medida. La impedancia  $Z_{cc}$  puede obtenerse por el cociente de lecturas del voltímetro  $V_{cc}$  y del amperímetro  $A_1$ : La resistencia  $R_{cc}$  puede medirse directamente con un puente de resistencias, o bien deducirse a partir de la potencia: Las normas establecen que la resistencia haya de referirse a la temperatura de trabajo, que suele fijarse en 75 °C. La reactancia puede deducirse por Pitágoras, a partir de  $Z_{cc}$  y  $R_{cc}$ . Una vez conocidos los valores de  $R_{cc}$  y  $X_{cc}$ , quedará determinado el triángulo fundamental de cortocircuito y podrá representarse en cualquier diagrama vectorial. Si varía la carga, el triángulo fundamental también lo hará proporcionalmente a ella, puesto que sus lados se obtienen como producto de  $R_{cc}$  y  $X_{cc}$  por la intensidad.

Figura 14

Diagrama fasorial para un transformador real con y sin carga.



### 3.3.1.3.- Determinación de Pérdidas en el Núcleo.

Otra pérdida que ocurre en el núcleo es la de histéresis magnética. Todos los materiales ferromagnéticos tienden a retener algún grado de magnetización después de la exposición a un campo magnético externo. Esta tendencia a quedarse magnetizada se llama "histéresis", y desarrolla una cierta inversión en la energía para superar esta oposición y cambiar cíclicamente el campo magnético producido por los cambios de polaridad en el devanado primario.

Las pérdidas de energía en el transformador tienden a aumentar con una frecuencia creciente. El efecto superficial dentro de los conductores reduce el área particular disponible para el flujo de electrones, a su vez aumenta la resistencia eficaz elevando la frecuencia y se crean mayores pérdidas de potencia. También aumentan las pérdidas del núcleo magnético a frecuencias superiores. Por esta razón, se diseñan transformadores para operar eficazmente en un rango limitado de frecuencias.

La potencia que se pierde en el proceso de remagnetización del material del núcleo sometido a un campo de corriente alterna. En los transformadores de distribución la frecuencia es baja, 50 Hz en Europa y 60Hz en América. Por tanto podemos clasificar las pérdidas de la siguiente forma:

- Pérdidas fijas (vacío) en el hierro.
- Pérdidas variables (en carga) en el cobre.

Las pérdidas de los transformadores de media y de baja tensión en Europa (UE- 15) suponen un 2% de la energía total generada, suponiendo un 7% de pérdidas en general (datos de Endesa que pueden extrapolarse al resto del sector). Esto supone unas pérdidas de 55 TWh anuales, para hacernos una idea de lo que supone esto la energía demandada en España durante el año 2005 fue aproximadamente de 287 TWh, es decir un 20% de lo que consume nuestro país durante un año, o también el hecho de que necesitaríamos 8 centrales nucleares para compensar estas pérdidas fijas en los transformadores.

A lo que concierne en España encontramos 3 TWh de pérdidas anuales sólo en transformadores de distribución. (1,08% de la demanda del año 2005). La elección del núcleo determina que resultados tendremos en cuanto se refiere a las pérdidas durante la operación del transformador en las redes eléctricas. Ahora vamos a estudiar los distintos tipos de núcleos.

### 3.3.1.4.- Clases de núcleos y evolución tecnológica

Hay dos tipos de núcleos usados: 1. Carburo de silicio de grano orientado. "CGO": Este tipo de núcleo posee una estructura ordenada lográndose una anisotropía magneto cristalina poseen una alta coercitividad lo cual dificulta la magnetización y desmagnetización del núcleo. La mayoría de los transformadores actuales aún mantienen las características básicas desarrolladas hace aproximadamente 90 años (laminaciones de hierro dulce delgadas y planas). Dentro de este tipo de núcleo podemos definir a su vez dos clases: la normal y la HiB, la tecnología va dirigida a láminas lo más finas posibles por los efectos anteriormente explicados, logrando un circuito magnético más eficiente.

Como conclusión podemos sacar que la normativa europea deja abierta muchas posibilidades, podemos adaptar esta normativa a la curva de la normativa Española es similar a la curva D0. Como se puede ver la normativa española es con una curva de pérdidas alta ya que de las cinco sólo una es inferior (la E0) lo cual no va acorde con la elevación de precio de los combustibles fósiles. Las empresas distribuidoras adoptan pérdidas más bajas en sus normativas particulares. Debemos hacer hincapié para este trabajo en las pérdidas en vacío, ya que, son las permanentes y sin depender fundamentalmente de la carga del transformador.

Estas máquinas son de larga duración y la amortización contable es de 40 años por lo que es muy importante la previsión del coste de la energía ya que cuando se decide su compra se hace basándose en este valor para capitalizar las pérdidas justificando, de esta forma, el más elevado coste que tiene un transformador de pérdidas más bajas.

### 3.3.1.5.- Caída de tensión en un transformador.

En el transformador se produce una caída de tensión cuando suministra una corriente  $I_2$  a los receptores conectados al secundario para un determinado factor de potencia  $\cos\phi_2$ . La tensión de red  $V_1$  se supondrá siempre constante. Se entiende por caída de tensión la diferencia entre las tensiones del secundario en vacío  $E_2$  y en carga  $V_2$ : Normalmente la caída de tensión se suele expresar en tanto por ciento de la tensión secundaria en vacío  $E_2$  y se denomina coeficiente de regulación  $\varepsilon$ .  $E_1$  = Tensión del secundario en vacío.  $V_2$  = Tensión del secundario en carga.  $\varepsilon$  = Caída de tensión porcentual en el transformador real. Coeficiente de regulación en el circuito equivalente simplificado: En el esquema del circuito equivalente simplificado, el coeficiente de regulación  $\varepsilon$  para una carga  $Z'_{2c}$  será: Teniendo en cuenta que la tensión de red  $V_1$  permanece fija, puede decirse que en valor absoluto es igual a la f.e.m. de vacío  $E_1$ , que interviene en la relación de transformación.

### 3.3.1.6.- Eficiencia energética de los transformadores.

En diciembre de 1997 se celebró la Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, en la que se decidió reducir el nivel de emisión de agentes contaminantes. El llamado protocolo de Kioto, éste establece que los países desarrollados deben reducir sus emisiones de gases causantes del efecto invernadero (el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los clorofluorocarbonos (CFC) y el ozono) en un 5,2% para el año 2012 respecto a las emisiones del año 1990.

El contenido en dióxido de carbono, principal causante del efecto invernadero, se ha incrementado aproximadamente un 30% desde 1750, como consecuencia del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón.

En 1996 se consumieron en el mundo 26.100 millones de barriles de petróleo, 2,32 billones de metros cúbicos de gas natural y cerca de 4.700 millones de toneladas de carbón. Si se trasladan esas cifras a unidades de energía, se puede decir que el consumo de energía mundial en ese año fue de 137 billones de julios de petróleo, 88 billones de julios de carbón y 77 billones de julios de gas natural.

En la Unión Europea, y en concreto de España, la dependencia de combustibles fósiles es muy importante, para reducir el consumo y en definitiva la emisión de CO<sub>2</sub> obliga a barajar distintas opciones:

- Aumentar la presencia de energía nuclear, pero la generación de residuos radioactivos y la "mala prensa" que esta posee, ha reducido sus posibilidades como solución a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Fomentar la utilización de energías alternativas. Pero éstas son de coste muy elevado y son poco fiables como fuentes de energía estables. Aunque el desarrollo de ciertas fuentes alternativas de energía se hace cada vez más importante, y es en definitiva una solución a largo plazo y cada vez más justificable con los incrementos de los combustibles fósiles.
- Reducir los consumos. Entre ellos el de la energía eléctrica, dentro de la energía eléctrica hay varias formas de reducir éstos, un aspecto "más controlable" por las compañías es la disminución de las pérdidas en los transformadores de distribución.

Dentro de las pérdidas energéticas que podemos encontrar:

- a) Pérdidas en las redes, las podemos reducir mejorando el diseño de las redes, su grado de utilización, su operatividad y gestionando mejor la demanda y la generación.
- b) Pérdidas técnicas, se pueden reducir haciendo transformadores más eficientes, eliminando transformadores intermedios, compensando reactiva, equilibrando las cargas en las fases, reconfigurando las redes de media, desplazando consumos mediante tarifas reducidas, adecuando la potencia nominal de los transformadores a las puntas de demanda de su mercado.

### 3.3.1.7.- Valoraciones y Ejemplo.

El banco llamado "AHORRO" ha considerado que su transformador está sobredimensionado. Lo anterior fue descubierto en la tarifa mensual donde aparece que su demanda máxima es de 100 kVA y tiene instalado un transformador de 500 kVA.

Debido a los elevados valores de la tarifa eléctrica, la empresa ha decidido desarrollar un proyecto de evaluación del cambio del transformador. Para esto, considera cambiar su transformador actual, con 10 años de uso, por otro de alta eficiencia.

Para esto, la empresa ha desarrollado el siguiente procedimiento:

- a) Realizar una evaluación de perfil de carga.
- b) Obtener la curva de eficiencia de ambos transformadores

Desarrollo Con el procedimiento anterior, la empresa logra determinar que existe la oportunidad de sustituir el transformador actual por un de alta eficiencia de 150 kVA. Es importante recalcar que la gerencia del banco ha definido que no habrá crecimiento en el espacio físico del edificio, los resultados de la medición indica que:

- a) La demanda máxima es de 100 kVA, con un horario de 8:00 am- 6:00pm.
- b) La demanda mínima es de 20 kVA.
- c) El tamaño del transformador es de 150 kVA con una eficiencia de 97.5%.
- d) Las pérdidas del nuevo transformador son de 1,369 kWh/Año.
- e) Las pérdidas del transformador anterior son del 4% y equivalen a 7,300 kWh/Año.

Finalmente y con las mediciones correctas, es posible determinar los montos de inversión, la energía ahorrada y los indicadores financieros del proyecto. Para este caso, asumiremos los valores relacionados con este proyecto.

Tabla 4

Corrida Financiera de Transformadores.

DATOS DE ENTRADA

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| ENERGÍA AHORRADA AL AÑO (kWh)                      | 5,931     |
| TARIFA (US\$/ kWh)                                 | 0.25      |
| MONTO DE INVERSIÓN INICIAL (US\$)                  | 15,000.00 |
| COSTO DE OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO (US\$ / AÑO) | 0.00      |
| VIDA ÚTIL DEL SISTEMA (AÑOS)                       | 20        |
| FONDOS                                             | Propios   |
| COSTO DE OPORTUNIDAD                               | 3%        |

| AÑO | AHORROS<br>(US\$) | GASTOS                         |                                        |                 | SALDO<br>(US\$) | ACUMULADO<br>(US\$) |
|-----|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|     |                   | INVERSIÓN<br>INICIAL<br>(US\$) | OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO<br>(US\$) | TOTAL<br>(US\$) |                 |                     |
| 1   | 1,482.75          | 15,000.00                      |                                        | 15,000.00       | -13,517.25      | -13,517.25          |
| 2   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -12,034.50          |
| 3   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -10,551.75          |
| 4   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -9,069.00           |
| 5   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -7,586.25           |
| 6   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -6,103.50           |
| 7   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -4,620.75           |
| 8   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -3,138.00           |
| 9   | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -1,655.25           |
| 10  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | -172.50             |
| 11  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 1,310.25            |
| 12  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 2,793.00            |
| 13  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 4,275.75            |
| 14  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 5,758.50            |
| 15  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 7,241.25            |
| 16  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 8,724.00            |
| 17  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 10,206.75           |
| 18  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 11,689.50           |
| 19  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 13,172.25           |
| 20  | 1,482.75          |                                | 0.00                                   | 0.00            | 1,482.75        | 14,655.00           |
|     |                   |                                |                                        |                 | VAN             | L.-28,952.23        |
|     |                   |                                |                                        |                 | TIR             | 1%                  |

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados son claros y este tipo de proyecto puede ser factible, si su consideración es hecha a nivel de diseño. Esto produce que la evaluación financiera se base en el valor adicional resultante de la comparación entre un transformador convencional (96%) y otro de alta eficiencia (97.5%)

También es posible determinar que, las pérdidas del transformador actual son superiores al 4% nominal. Por este motivo, es importante medir el comportamiento del transformador.

### 3.3.1.8.- Corrección del factor de potencia.

Asea Brown Boveri, S.A. (ABB), establece en su cuaderno de aplicaciones técnicas número 8, que, en los circuitos de corriente alterna, la corriente absorbida por una carga puede estar representada por dos componentes:

- La componente activa ( $I_R$ ), en fase con la tensión de alimentación, que está directamente relacionada con el trabajo útil desarrollado (y, por tanto, con la parte proporcional de energía transformada en energía de otro tipo: mecánica, lumínica, térmica...);
- La componente reactiva ( $I_Q$ ), perpendicular respecto a la tensión, que sirve para producir el flujo necesario para la conversión de las potencias a través del campo eléctrico o magnético y es un índice del intercambio energético entre la alimentación y el elemento de la instalación eléctrica.

Sin esta componente no podría haber transferencia neta de potencia, por ejemplo, por intervención del acoplamiento magnético en el núcleo de un transformador o en el entrehierro de un motor. Por lo general, en presencia de cargas de tipo ohmicoinductivo, la corriente total  $I$  se muestra desfasada y retardada respecto a la componente activa  $I_R$ .

Asimismo, el mismo autor, deja sentado que, en una instalación eléctrica es necesario generar y transportar, además de la potencia activa útil  $P$ , una cierta potencia reactiva  $Q$ , indispensable para la conversión de la energía eléctrica que no es utilizada por el elemento sino intercambiada con la red.

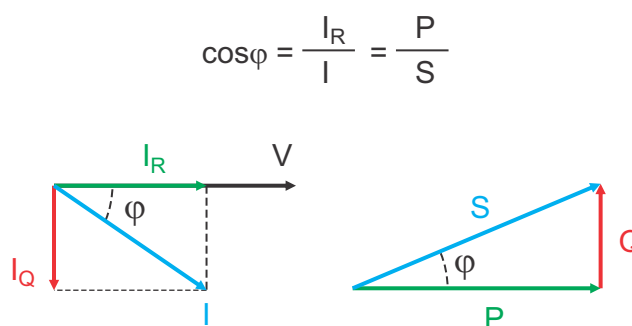
El complejo de la potencia generada y transportada constituye la potencia aparente  $S$ .

El factor de potencia  $\cos\phi$ , se define como la relación entre la componente activa  $I_R$  y el valor total de la corriente  $I$ , siendo  $\phi$ , el ángulo de fase entre la tensión y la corriente. Con una tensión  $V$  dada de fase resulta:

Corregir significa actuar para incrementar el factor de potencia en una sección específica de la instalación, proporcionando localmente la potencia reactiva necesaria para reducir, a igual potencia útil requerida, el valor de la corriente y, por tanto, de la potencia que transita la red aguas arriba. De esta forma, las líneas, los generadores y los transformadores pueden ser dimensionados para un valor de potencia aparente inferior.

Figura 15

Diagrama fasorial en sistemas eléctrico.



Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A.)

Desde el punto de vista estrictamente técnico, una instalación correctamente dimensionada puede funcionar con normalidad incluso en presencia de un bajo factor de potencia; por este motivo, no existen normas que indiquen el valor exacto del factor de potencia que debe tener una instalación eléctrica.

No obstante, efectuar la corrección representa una solución que permite obtener ventajas técnicas y económicas; de hecho, gestionar una instalación con un bajo  $\cos\phi$ , implica un incremento de los costes para el distribuidor de energía eléctrica, que, consecuentemente, aplica un sistema de tarifas que sanciona el uso de la energía con bajos factores de potencia.

Las disposiciones legales existentes en los distintos países permiten que las compañías eléctricas nacionales puedan crear un sistema de tarifas más o menos detallado, estructurado de forma que la energía reactiva consumida que sobrepase la correspondiente a un  $\cos\phi$  igual a 0.9 ha de pagarse según determinados importes que dependen de la tensión del suministro (baja, media o alta) y del factor de potencia.

A partir del sistema de tarifas aplicado, el usuario puede determinar los importes que conlleva ese incremento y, por tanto, puede evaluar, frente al coste de una instalación de corrección, el ahorro en relación con el coste de las sanciones.

Los niveles del factor de potencia, varían conforme al tipo de carga. Hoy día, los avances tecnológicos, han permiten que las luminarias y los motores eléctricos, tengan un factor de potencia superior al de décadas pasadas.

En la tabla 3, se incluyen algunos valores de FP para distintos tipos de cargas. Nótese como, aquellos equipos que su operación se basa principalmente en efectos inductivos, son los que tienen el menor factor de potencia.

Tal y como se explicaba anteriormente, al aplicar la corrección en una instalación, proporcionando localmente la potencia reactiva necesaria, se reduce el valor de la corriente, (a igual potencia útil requerida), y, por tanto, la potencia global consumida aguas arriba; esto conlleva numerosas ventajas, entre ellas, un uso optimizado de las máquinas (generadores y transformadores) y de las líneas eléctricas (transmisión y distribución).

**Tabla 5**

**Rango de Factor de Potencia en Algunos Equipos.**

| TIPO DE CARGA                              | FACTOR DE POTENCIA |
|--------------------------------------------|--------------------|
| Transformadores en vacío                   | 0.1 - 0.15         |
| Motores                                    | 0.7 - 0.85         |
| Dispositivos para el tratamiento del metal |                    |
| Soldadoras de arco                         | 0.35 - 0.6         |
| Soldadoras de arco compensadas             | 0.7 - 0.8          |
| Soldadoras de resistencia                  | 0.4 - 0.6          |
| Hornos de arco                             | 0.75 - 0.9         |
| Lámparas fluorescentes                     |                    |
| Compensadas                                | 0.9                |
| No compensadas                             | 0.4 - 0.6          |
| Convertidores de CA-CC                     | 0.6 - 0.95         |
| Accionamientos de CC                       | 0.4 - 0.75         |
| Accionamientos de CA                       | 0.95 - 0.97        |
| Cargas resistivas                          | 1                  |

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A.)

En el caso de formas de onda sinusoidales, la potencia reactiva necesaria para pasar de un factor de potencia  $\cos\phi_1$  a un factor de potencia  $\cos\phi_2$  es expresada por la relación (válida tanto para sistemas trifásicos como monofásicos):

Ejemplo: Supongamos que queremos incrementar el factor de potencia de una instalación trifásica ( $V_n = 480 \text{ V}$ ) que consume de media 300 kW, de 0.8 a 0.93. ¿Cuál es el tamaño en el banco de capacitores y cuál es el impacto sobre la corriente de línea?

Primero, se calcula la corriente de línea sobre las condiciones iniciales.

$$I = P / ((\sqrt{3}) * V * \cos\phi_1)$$

$$= 300 \text{ kW} / (1.73 * 480 \text{ V} * 0.8)$$

$$= 452 \text{ A}$$

Segundo, se calculó el tamaño del banco de capacitores, conforme a la corrección de 0.8 a 0.93.  $Q_c = P * (T_n \phi_1 - T_n \phi_2)$

$$= 300 \text{ kW} (0.75 - 0.39)$$

$$= 108 \text{ kVAR (Capacitivo)}$$

El resultado de 108 kVAR indica que se deberá instalar un banco de capacitores de ese valor y así, se podrá elevar el FP de 0.8 a 0.93. Con este incremento, se eliminara una pasible penalización por bajo factor de potencia.

Pero, el efecto es también sobre la corriente de línea. El nuevo valor se calculará en este momento:

$$I = P / ((\sqrt{3}) * V * \cos\phi_2)$$

$$= 300 \text{ kW} / (1.73 * 480 \text{ V} * 0.93)$$

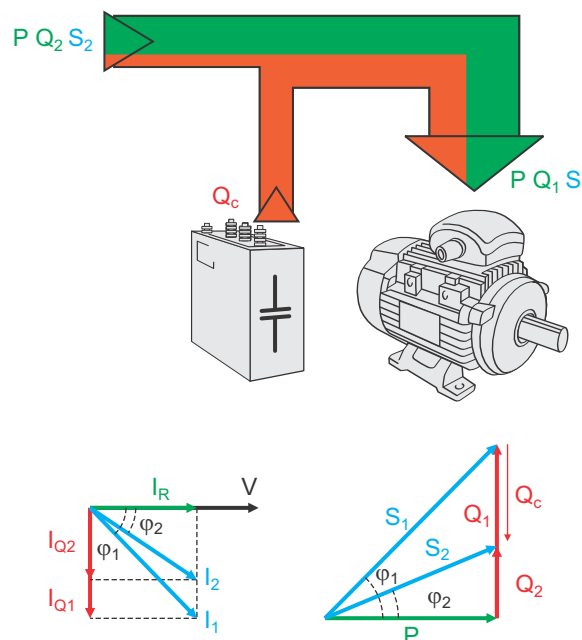
$$= 388 \text{ A}$$

Por efecto de la corrección, la corriente consumida pasa de 452 a 388 A. Esto es, una reducción de casi el 15%, con todo ello, las ventajas principales de la corrección pueden resumirse de la siguiente manera:

- Uso optimizado de las máquinas eléctricas;
- Uso optimizado de las líneas eléctricas;
- Reducción de las pérdidas;
- Reducción de la caída de tensión.
- Eliminación de posibles multas por bajo factor de potencia.

Figura 16

Diagrama esquemático para el cálculo de factor de potencia.



donde:

- P es la potencia activa;
- $Q_1, \phi_1$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección;
- $Q_2, \phi_2$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección;
- $Q_c$  es la potencia reactiva de corrección.

Fuente: (Asea Brown Boveri, S.A.)

### 3.3.1.9.- Ventajas técnicas de la corrección del factor de potencia.

#### 3.3.1.9.1.- Uso optimizado de las maquinas eléctricas.

Los generadores y los transformadores son dimensionados a partir de la potencia aparente  $S$ . Esta, a igual potencia activa  $P$ , es más pequeña cuanto menor es la potencia reactiva  $Q$  suministrada. Por lo tanto, compensando la instalación, las maquinas pueden ser dimensionadas en relación con una potencia aparente inferior, aun proporcionando la misma potencia activa.

#### 3.3.1.9.2.- Uso optimizado de las líneas eléctricas.

La corrección del factor de potencia permite obtener ventajas también con respecto al dimensionamiento de los cables. Como se señalaba anteriormente, aumentándolo se reduce la corriente, a igual potencia útil.

Esta reducción de la corriente puede permitir la elección de conductores de sección inferior. Para explicar esto mediante un ejemplo práctico, en el caso anterior, la corriente de línea inicial, necesitaría un cable calibre 600 MCM, contra un 500 MCM<sup>12</sup> para la corriente resultante después de la corrección.

### 3.3.1.10.- Reducción de las pérdidas

Relacionado con el concepto de pérdidas en el cobre ( $I^2 * R$ ), la disminución en la magnitud de la corriente eléctrica, produce una disminución automática en las pérdidas.

#### 3.3.1.11.- Reducción en la caída de tensión.

Similar al caso anterior, con una misma carga y mismo alimentador, la disminución en la corriente eléctrica, produce una disminución en la caída de tensión. Recordemos que en este caso, la Ley de ohm establece que  $V = R * I$ .

#### 3.3.1.12.- Eliminación de posibles multas por bajo factor de potencia.

Como norma en los sistemas eléctricos, las empresas distribuidoras exigen mantener un valor mínimo de factor de potencia, si este disminuye, la distribuidora aplica una multa. En el caso de Honduras, el valor mínimo de factor de potencia en un mes es de 0.9, en caso de que no se cumpla, se aplica una multa ya definida por la empresa distribuidora.

## 3.4.1. Autoconsumo.

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos. Esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen los mismos. El sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo.

12/ Conforme al cable THHN, 90 °C.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la fotovoltaica ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

Los sistemas de autoconsumo se clasifican en aislados o con conexión a red según estén o no conectados a la red eléctrica. Los aislados, se ubican normalmente en la zona rural, aunque, es posible que en las áreas urbanas, un consumidor decida convertirse en un sistema aislado.

#### 3.4.1.1.- Sistemas aislados.

El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una batería eléctrica para un posterior uso. En este caso, la confiabilidad del sistema, se obtiene por medio de un banco de baterías, cuya instalación es forzosa.

#### 3.4.1.2.- Sistemas de conexión a red.

El sistema de conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Este permite obtener un suministro de electricidad con el mecanismo de compensación diferida o balance neto, un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red, los excesos de producción del sistema de autoconsumo. Esta práctica está sujeta a la legislación vigente en cada país.

#### 3.4.1.3.- Sistemas conmutados con la red.

También se puede hacer un sistema conmutado con la red; bien con un conmutador aparte o integrado en el inversor (ya los hay disponibles en el mercado), que conmutan la instalación solar con la de la red en 10 milisegundos; con lo que convertimos la instalación solar en una aislada, pues nunca se "toca" con la compañía. Hacen falta unas baterías con un poco de acumulación, lo que no encarece demasiado la instalación en comparación con la de conexión, pero puede acogerse a la legislación de aislada.

Un sistema de autoconsumo fotovoltaico de conexión a red está formado por el conjunto de paneles fotovoltaicos y un inversor. Existen otros componentes, pero, se puede decir que estos son el corazón del sistema solar fotovoltaico. (El Solar de Green Meadow.)

Los paneles fotovoltaicos (A) están formados por un conjunto de celdas solares fotovoltaicas, que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (electricidad solar). Algunas marcas de paneles solares fotovoltaicos comúnmente usados en Honduras son: Suntech, Yingli, Trina Solar, Candian Solar y muchas otras.

Figura 17

Diagrama esquemático de conexión de sistema solar para autoconsumo.



Fuente: (El Solar de Green Meadow.)

El inversor **(B)** es un aparato electrónico que convierte la corriente continua, generada, por ejemplo, por el panel fotovoltaico, en corriente alterna. Este se conecta a los paneles con un cable. Algunas marcas que fabrican inversores para conexión a red en autoconsumo son SMA Solar Technology, ABB, Schneider Electric.

Aparte de estos, los sistemas de autoconsumo pueden incorporar otros componentes, como los descritos a continuación:

- a) Una estructura para la sustentación de las placas fotovoltaicas.
- b) Baterías o acumuladores para almacenar la energía. Estos son necesarios en el caso de sistema de autoconsumo aislados, no en los de conexión a red.
- c) Cargadores de baterías.
- d) Reguladores para controlar y gestionar las baterías. Son dispositivos que controlan constantemente el estado de carga de las baterías con la finalidad de alargar su vida útil y de protegerlas frente a sobrecargas y sobredescargas. Estos reguladores cuentan con microcontroladores que permiten gestionar los sistemas fotovoltaicos.
- e) Accesorios para monitorizar el comportamiento del sistema. Permiten controlar los parámetros más importantes de las instalaciones fotovoltaicas.

### 3.4.2. Ventajas de los sistemas de autoconsumo.

Entre las ventajas del autoconsumo respecto al consumo de la red se encuentran las siguientes:

- a) Con el abaratamiento de los sistemas de autoconsumo y el encarecimiento de las tarifas eléctricas, puede salir más barato que uno mismo produzca su propia electricidad.
- b) Se reduce la dependencia de las compañías eléctricas.
- c) Los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos utilizan la energía solar, una fuente gratuita, inagotable, limpia y respetuosa con el medioambiente.
- d) Se genera un sistema distribuido de generación eléctrica que reduce la necesidad de invertir en nuevas redes y reduce las pérdidas de energía por el transporte de la electricidad a través de la red.
- e) Se reduce la dependencia energética del país con el exterior.
- f) Se evitan problemas para abastecer toda la demanda en hora punta, conocidos por los cortes de electricidad y subidas de tensión.
- g) Se minimiza el impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.

### 3.4.3. Obstáculos del autoconsumo.

Hasta hace unos años, uno de los principales obstáculos del autoconsumo era el coste de compra de los sistemas. Esto ha dejado de ser un problema dado que los precios se han abaratado en gran medida (hasta un 80% en los últimos 5 años), mientras que los precios de la electricidad proporcionada por las compañías eléctricas han subido de forma continua, y se espera que lo sigan haciendo en el futuro próximo.

Otro obstáculo del autoconsumo es la intermitencia de la generación de electricidad a partir de la energía solar. Así, un sistema de placas solares por la noche no generará electricidad, siendo necesario un sistema de almacenamiento en caso de instalaciones aisladas.

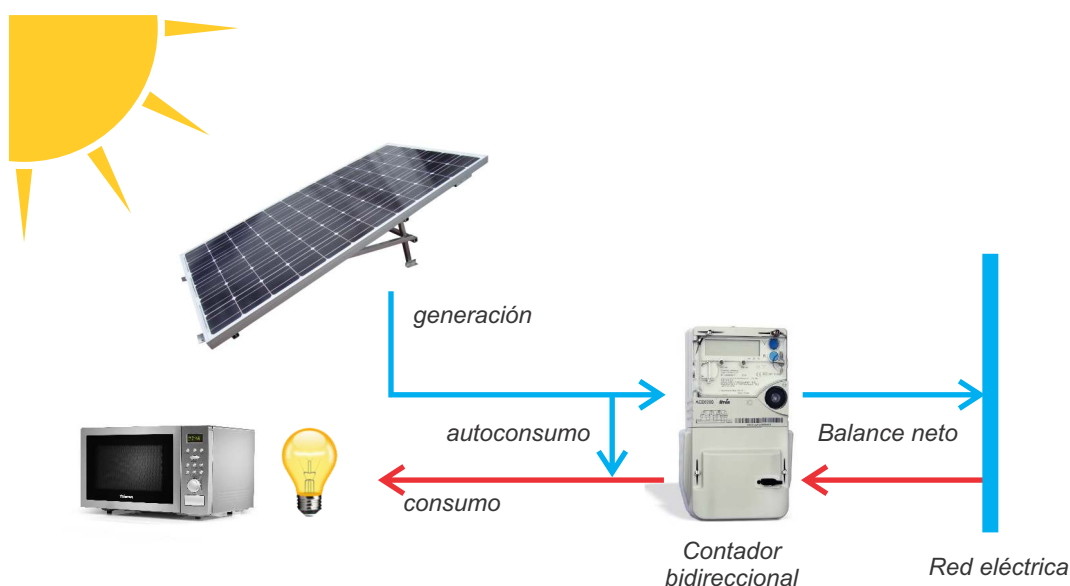
En el caso de sistemas de autoconsumo conectados a red esto no es mayor problema si el país dicta normas que regulen un suministro eléctrico con balance neto lo cual es el principal obstáculo del autoconsumo en España: el vacío legal creado, al estar pendiente de aprobación la regulación que autorice el autoconsumo con balance neto, ya que la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de pequeña potencia no fija las condiciones administrativas, técnicas y económicas del consumo de la energía eléctrica producida en el interior de la red de un consumidor para su propio consumo si este a su vez dispone de enganche a la red eléctrica con suministradores exteriores.

### 3.4.4. Balance neto.

La modalidad de suministro eléctrico con balance neto es un sistema de compensación de saldos de energía de manera instantánea o diferida, que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo, compatibilizando su curva de producción con su curva de demanda.

Figura 18

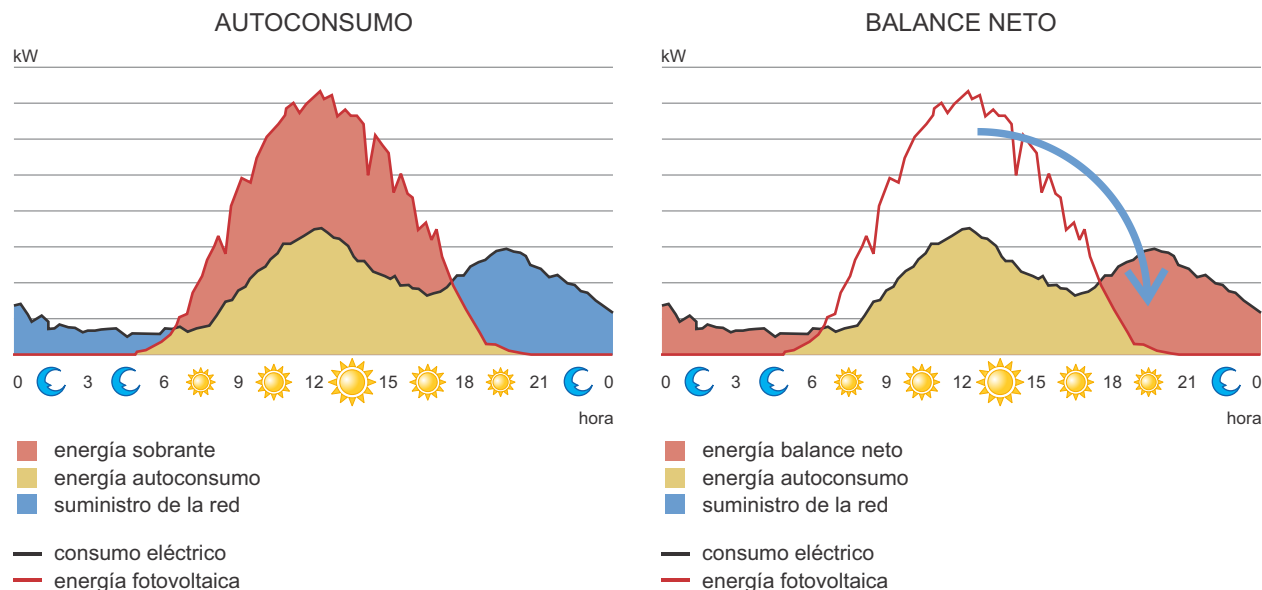
Esquema de operación de la conexión en red.



Fuente: (Moreno, 2013)

Figura 19

Esquema de autoconsumo y balance neto.



Fuente: (Moreno, 2013)

Es decir, permite verter a la red eléctrica el exceso producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso de ese exceso en otro momento. De esta forma, la compañía eléctrica que proporcione la electricidad cuando la demanda sea superior a la producción del sistema de autoconsumo, descontará en el consumo de la red de la factura, los excesos vertidos a la misma.

Este sistema permite hacer uso de la electricidad producida en exceso, por ejemplo, en vacaciones, por un sistema de autoconsumo. Este exceso, se denomina de distintas maneras a nivel del mundo y no solo esto, también tiene consideraciones distintas.

### 3.4.4.1.- El balance neto en España.

En España, el balance neto ha sido propuesto por la Unión Española Fotovoltaica para promover la electricidad renovable, sin necesidad de apoyo económico adicional. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de países occidentales desarrollados, en España, el balance neto está pendiente de regulación y bloqueado por intereses partidistas oligopolísticos.

Un primer paso fue la aprobación, a finales de 2011 del Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia,<sup>8</sup> en el que se estableció la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. Este decreto es aplicable a consumidores de energía eléctrica de potencia contratada no superior a 100 kW por punto de suministro o instalación que utilicen cualquier tecnología renovable para la generación eléctrica.

De conformidad con la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto, éste no fija las condiciones administrativas, técnicas y económicas del consumo de la energía eléctrica producida en el interior de la red de un consumidor para su propio consumo. Es decir, que el consumidor acogido a esta modalidad pueda ceder a la empresa comercializadora, sin contraprestación económica, la energía generada en el interior de su red y que no pueda ser consumida, generando unos derechos de consumo diferido que podrán ser utilizados por ejemplo hasta 12 meses después de la generación.

El desarrollo de las condiciones administrativas debía resolverse en 4 meses desde la fecha de su publicación, es decir, a principios de 2012. Esta demora va en contra de la propia legislación, la cual es vulnerada por el propio gobierno.

Se esperaba que, durante el segundo semestre de 2012, se aprobara la norma que indique las condiciones técnicas necesarias para dichas conexiones y la regulación de un modelo de balance neto adecuado a las características del sistema eléctrico nacional. Sin embargo en la actualidad el balance neto sigue pendiente de aprobación. Lo único que existe es un borrador publicado por la CNE, por lo que los sistemas de autoconsumo han de ser totales, es decir se ha de consumir toda la energía producida, sin que se pueda verter energía a la red (autoconsumo instantáneo).

#### 3.4.4.2.- El "balance neto" en el resto del mundo.

En otros países ya existe un sistema de balance neto. En EE.UU, se llama crédito eléctrico y está presente en unos 40 estados. Japón utiliza también un sistema de balance neto similar pero de ámbito municipal. Otros países que permiten el autoconsumo son Italia, Bélgica y Alemania. En Alemania, además se aporta una prima por el autoconsumo. En Italia, se abona el doble y no se paga por lo que se consume. Y en Bélgica, se aplica un sistema híbrido de primas y certificados verdes. En la República Dominicana se le llama Medición Neta y está disponible en todo el país. Ya muchos usuarios residenciales e industriales se están beneficiando de este y otros incentivos.

#### 3.4.5. Valoraciones y Ejemplos.

Una compañía determinada, pretende construir un proyecto de autoconsumo de energía eléctrica. Para esto, la opción escogida es la construcción de una granja solar de 3,600 Wp.

- o El sistema será sincronizado a la red. La operación del sistema será a 60Hz, 120/240V, 1 fase. Los resultados de la TIR y la VAN se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 6

Corrida Financiera autoconsumo.

DATOS DE ENTRADA

|                                        |                         |
|----------------------------------------|-------------------------|
| DESCRIPCIÓN                            | Panel solar de 3,600 Wp |
| INVERSIÓN INICIAL (US\$)               | 10,800.00               |
| POTENCIA DEL EQUIPO (Wp)               | 3,600                   |
| GENERACIÓN DE ENERGÍA AL MES (kWh/mes) | 486                     |
| TARIFA B ENEE (US\$/kWh)               | 0.22                    |
| INGRESO ENERGÍA GENERADA (US\$/año)    | 1,300.86                |
| TASA DE DESCUENTO                      | 4%                      |

| AÑO | GASTOS                         |                                        |                 | INGRESOS<br>(US\$) | SALDO<br>(US\$) | ACUMULADO<br>(US\$) |
|-----|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------|
|     | INVERSIÓN<br>INICIAL<br>(US\$) | OPERACIÓN Y<br>MANTENIMIENTO<br>(US\$) | TOTAL<br>(US\$) |                    |                 |                     |
| 1   | 10,800.00                      |                                        | 10,800.00       | 1,300.86           | -10,362.00      | -10,362.00          |
| 2   |                                |                                        |                 | 1,299.56           | 1,299.56        | -9,062.44           |
| 3   |                                |                                        |                 | 1,298.26           | 1,298.26        | -7,764.18           |
| 4   |                                |                                        |                 | 1,296.96           | 1,296.96        | -6,467.22           |
| 5   |                                |                                        |                 | 1,295.66           | 1,295.66        | -5,171.58           |
| 6   |                                |                                        |                 | 1,294.37           | 1,294.37        | -3,877.19           |
| 7   |                                |                                        |                 | 1,293.07           | 1,293.07        | -2,584.11           |
| 8   |                                |                                        |                 | 1,291.78           | 1,291.78        | -1,292.33           |
| 9   |                                |                                        |                 | 1,290.49           | 1,290.49        | -184                |
| 10  |                                |                                        |                 | 1,289.20           | 1,289.20        | 1,287.36            |
| 11  |                                |                                        |                 | 1,287.91           | 1,287.91        | 2,575.27            |
| 12  |                                |                                        |                 | 1,286.62           | 1,286.62        | 3,861.89            |
| 13  |                                |                                        |                 | 1,285.34           | 1,285.34        | 5,147.22            |
| 14  |                                |                                        |                 | 1,284.05           | 1,284.05        | 6,431.27            |
| 15  |                                |                                        |                 | 1,282.77           | 1,282.77        | 7,714.04            |
| 16  |                                |                                        |                 | 1,281.48           | 1,281.48        | 8,995.52            |
| 17  |                                |                                        |                 | 1,280.20           | 1,280.20        | 10,275.72           |
| 18  |                                |                                        |                 | 1,278.92           | 1,278.92        | 11,554.65           |
| 19  |                                |                                        |                 | 1,277.64           | 1,277.64        | 12,832.29           |
| 20  |                                |                                        |                 | 1,276.36           | 1,276.36        | 14,108.65           |
|     |                                |                                        |                 |                    |                 | 11%                 |
|     |                                |                                        |                 |                    |                 | \$ 6,320.50         |

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones: Los resultados indican que el periodo de repago es de 10 años. Además, la TIR y el VAN son los suficientemente grandes para considerar la ejecución inmediata del proyecto.

## 4.1. Como realizar una auditoría energética

Hasta este momento, se han evaluado proyectos que tienen carácter educativo, ahora, se presenta una auditoría energética realizada por la Iniciativa MIPYMES Verdes del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). Se incluyen los resultados técnicos de la auditoría y las variables normalmente incluidas en este tipo de proyecto.

### 4.1.1. Ejemplo de auditoría energética

#### 4.1.1.1.- Antecedentes:

La Empresa Avícola Río Amarillo (AVIARIA) es una empresa Hondureña dedicada a la producción de huevos comerciales, verticalmente integrada desde la cría de pollitas ponedoras, y horizontalmente enfocada a la producción de alimento concentrado para consumo propio y para la venta a otros productores. Los subproductos de los desechos son utilizados para la producción de composta procesada.

Avícola Río Amarillo fue fundada en 1989 en Río Amarillo, Copán, bajo el nombre AVIARIA con el objetivo de desarrollar una finca de producción de huevos comerciales, de alta calidad y suplir la demanda regional. Asimismo con el propósito de crear fuentes de trabajo y mejorar las condiciones de vida de las comunidades aledañas.

AVIARIA está en el proceso de certificación en 5 áreas: proceso de inocuidad, medio ambiente, transparencia tributaria, derechos humanos y laborales en base a los requerimientos de ISO 2001, esperando poder obtener esta certificación en un futuro muy cercano. Cuentan con el Certificado en Buenas Prácticas de Manufactura, provista por CSG (Consultores en Sistemas de Gestión) y su de trabajo contempla la preparación y obtención de las demás certificaciones para alcanzar el certificado de inocuidad.

La finca cuenta con distintas áreas para la producción de los diferentes productos y subproductos, distribuida según las más estrictas normas de bioseguridad e higiene, y dotadas cada una de áreas de aseo previo al ingreso en las galeras y salas.

La finca cuenta con un galpón de desarrollo donde se reciben las pollitas de 1 día, producidas con embriones alemanes de alta productividad. Luego, se pasa al proceso de levante con programas de vacunación, ambiente controlado, sistemas automáticos de comederos y bebederos. Este módulo está higienizado para proteger las aves de infecciones y enfermedades. Cuenta además con 3 galpones de producción con ambiente controlado, temperatura estable todo el año y sistemas automáticos de recolección y alimentación. También poseen bandas automáticas de recolección de huevo con 9 aves por jaula para lograr eficiencia en recolección e higiene del huevo y conteo bacteriano bajo. Se maneja registro de peso semanal, uniformidad, peso del huevo, calidad de cáscara, color de yema, análisis del agua, y microbiológicos de la superficie para garantizar higiene.

Existen estrictas medidas de higiene, gorros y uniformes, superficies higienizadas para el personal clasificador. Se realizan monitoreos bacteriológicos periódicamente con el objetivo de garantizar la inocuidad de todo el proceso.

AVIARIA cuenta con una planta de producción de alimento concentrado y balanceado para sus gallinas ponedoras y pollitas en levante. Con esto, garantizan que los animales reciben la mejor nutrición. Todos los productos utilizados son de origen vegetal, con procesos mecanizados de molienda, mezcla y descarga. Se recibe la materia prima y se hace el alimento de inicio, de impulsor para aves jóvenes de fase 1 y Fase 2. Además se cuenta con área para revisión de materia prima, almacenamiento en silos y el área de mezclado y empaque.

Una vez listas las diferentes mezclas, el producto terminado se mueve por elevadores y tolvas, hasta llegar a empaque en sacos costurados.

En AVIARIA se producen huevos blanco marca Nutrí-Yema. Los huevos se comercializan a granel y en quincenas de huevo pack, en los principales supermercados de la ciudad, utilizando empaques transparentes.

#### 4.1.1.2.- Demanda de Energía e Identificación de Acciones a Realizar

La demanda de energía ha incrementado durante los últimos dos años, debido al crecimiento de las instalaciones:

Consumo del año 2011      44,782 kWh

Consumo del año 2012:    62,179 kWh

Proyección del año 2013: 100,000 kWh (La proyección de energía considera la carga del sistema de ventilación de Levante y Desarrollo que en el momento de la auditoría no estaba funcionando por fallas técnicas del sistema. Los valores fueron estimados con la carga en funcionamiento).

El 96% de la energía consumida en toda la planta se reparte en los galpones de alojamiento de las aves, y en cada uno de ellos el 85% de la carga es representada por los sistemas de ventilación para regular la temperatura.

El costo promedio mensual que invierte Avícola Río Amarillo en pago del consumo de la energía es de aproximadamente L 34,838.50 (equivalentes a US\$1,715.00), representando uno de los mayores costos que tiene el proceso productivo de la empresa, por lo que ante la necesidad de reducir el costo de la energía que tiene la empresa acuden a la Iniciativa MIPYMES Verdes para ser beneficiarios de una Auditoría Energética.

La Auditoría Energética se enfoca a realizar una evaluación, estudio y análisis de los flujos de energía del proceso en sus instalaciones originales, que consta con equipos en operación e instalaciones eléctricas completas, los resultados de esta evaluación presentan una serie de Recomendaciones que contemplan la aplicación de acciones preventivas y correctivas que permitirán al implementarlas asegurar la eficiencia global de la empresa, disminuir las emisiones contaminantes a la atmósfera y mejorar las condiciones operativas y ambientales con un enfoque en seguridad y salud ocupacional al considerar una iluminación y ventilación adecuadas. La Auditoría Energética fue realizada por el Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras.

## 4.1.1.3 Recomendaciones Resultantes de la Auditoría Energética

| Recomendación                                | Beneficios ambientales                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Beneficios económicos (US\$/año) | Inversión (US\$) | Retorno de Inversión (años) |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------|
| Utilización de energía hidráulica            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en el consumo de energía eléctrica en 8 kW.</li> <li>Reducción en la emisión de gases efecto invernadero en 32 Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>/año.</li> </ul>                                                                                                   | 14,226.00                        | 25,000.00        | 1.75                        |
| Utilización de biogás                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en el consumo de energía eléctrica en 30 kW.</li> <li>Reducción en la emisión de gases efecto invernadero en 173 Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>/año y 390 Toneladas de CO<sub>2</sub>e por emisiones fugitivas totales por la combustión del metano.</li> </ul> | 76,212.00                        | 210,000.00       | 3                           |
| Corrección del factor de potencia            | No hay beneficios ambientales tangibles.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3,640.00                         | 5,825.00         | 1.60                        |
| Corrección de Armónicos                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                                | 9,000.00         | ND                          |
| Cambio de motor de molino                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en el consumo de energía eléctrica en 2.6 kW.</li> <li>Reducción en la emisión de gases efecto invernadero en 1.9 Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>/año.</li> </ul>                                                                                                | 912.00                           | 2,952.00         | 3.24                        |
| Instalación de un dispositivo de sincronismo |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                                | 11,100.00        | ND                          |
| Corrección de la red de tierra               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                                | 4,710.00         | ND                          |
| Uso de ahorradores de gas Lp                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción en el consumo de gas Lp en 1,260 libras al año.</li> <li>Reducción en la emisión de gases efecto invernadero en 1.63 Toneladas de CO<sub>2</sub>/año.</li> </ul>                                                                                                          | 734.00                           | 2,890.00         | 3.9                         |



## 5.1. Recomendaciones y Conclusiones

### 5.1.1. Recomendaciones.

- Tubos fluorescentes y bombillas fluorescentes compactas facilitan una iluminación de calidad y alta eficiencia.
- Sustitución de las lámparas incandescentes de mayor uso por lámparas fluorescentes (permite reducir hasta un 50% del consumo eléctrico).
- La duración de las lámparas fluorescentes compactas es de 6-10 veces mayor que las incandescentes.
- La potencia de una lámpara fluorescente compacta es entre un 20-25% mayor que la de una incandescente, proporcionando el mismo nivel de iluminación, pero con un consumo entre un 75-80% inferior.
- Utilización de colores claros para disminuir las necesidades de iluminación.
- Locales que se usen poco (sótanos, bodegas, etc.) y con interruptor de encendido en el exterior, es conveniente que éste incorpore una luz de control para ver si la luz del interior queda encendida o apagada.
- Apagar las luces de las habitaciones que no se usen.
- Instalación de programadores, fotocélulas o sensores de presencia para reducir el tiempo de uso.
- Las lámparas con 3 niveles de iluminación permiten mantener un nivel de iluminación bajo cuando no es necesaria una gran intensidad de luz.
- Utilizar una iluminación acorde con el uso del ambiente.
- Aprovechar la luz diurna utilizando ventanas y cortinas de colores claros y tejidos que permitan la penetración de la luz solar, acompañado de una decoración con colores claros que refleje la luz diurna.
- Cambiar en las lámparas estilo antorcha las bombillas halógenas por bombillas fluorescentes compactas, ya que consumen entre el 60-80% menos, proporcionan más luz y no se calientan tanto.
- Utilizar luces exteriores equipadas con fotocélulas o temporizadores, que se apaguen solas durante el día.
- Utilizar lámparas fluorescentes compactas y/o LED para las luces exteriores.
- Mantener limpias y en buen estado las lámparas de la vivienda, podría llegar a suponer un ahorro de hasta un 20% en el consumo eléctrico para iluminación, ya que una bombilla sucia o en mal estado puede llegar a perder hasta un 50% de su luminosidad.

- Para mejorar los indicadores financieros de los proyectos, es importante que durante La etapa de diseño, se pueda realizar las valoraciones entre equipos de alta eficiencia y equipos convencionales. Nunca hay que olvidar que la industria eléctrica produce cada día equipos más eficientes.
- Los avances tecnológicos, que normalmente están relacionados con el incremento en la eficiencia y la disminución de los precios, permite que los proyectos de eficiencia energética sean, cada vez más rentables. Es posible, en este momento, alcanzar altas tasas de rentabilidad en la sustitución de motores y transformadores.
- El primer paso para el ahorro de energía en motores eléctricos es que la potencia nominal del motor sea debidamente seleccionada. Se recomienda que la potencia nominal este sobredimensionada en 5 a 15% respecto a la potencia de operación del motor, con el objetivo de que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuados. Si el motor seleccionado está sobredimensionado por encima del 25% la potencia de operación, resultara que el factor de potencia del motor disminuirá, lo que incrementara la corriente del motor, aumentando las pérdidas en las líneas y el consumo de la potencia reactiva.
- Las bombas y los ventiladores constituyen más del 55% de las cargas usadas con motores de inducción, por lo tanto lograr que estas operen con la mayor eficiencia posible representa una buena opción para el ahorro de la energía. Se recomienda las siguientes acciones:
  - Seleccione una bomba eficiente y que opere muy cerca de su presión y flujo de diseño nominal.
  - Si la bomba opera muy por debajo de su carga nominal, instale un impulsor más pequeño o redimensione el que existe.
  - Minimice el número de codos agudos en la tubería.
  - Use tuberías de baja fricción y considere cambiar las tuberías viejas.
  - Realice periódicamente el mantenimiento a las bombas, sin mantenimiento la eficiencia puede caer en 10% respecto al valor de eficiencia nominal.
  - Seleccione ventiladores eficientes.
  - Realice un mantenimiento periódico de los ventiladores, por ejemplo limpie regularmente las aspas y mantenga los filtros limpios para reducir las caídas de presión.
  - Instale un control para activar el ventilador solo cuando sea necesario.
  - Si es posible reduzca la velocidad variando los diámetros de las poleas.
- Una práctica importante en el ahorro de energía es evaluar la potencia y la eficiencia de operación de los motores eléctricos. El conocimiento de la potencia entregada y la eficiencia de operación permitirán luego poder tomar acciones correctivas para aumentar la eficiencia de operación. Estas mediciones deben realizarse sin perturbar el proceso productivo, entre los métodos más usados para determinar la eficiencia de operación en sitio, están: el método de la placa, el método de la corriente, el método del deslizamiento y el método de evaluación de pérdidas.

### 5.1.2. 5.1.2.- Conclusiones.

- Los motores eléctricos de inducción están diseñados y fabricados para operar en las condiciones especificadas en la placa de características, llamadas condiciones nominales. Asimismo deben ser alimentados con un sistema trifásico simétrico de tensiones de forma de onda sinusoidal y de magnitud similar a la nominal, es decir el sistema debe tener una calidad de la potencia eléctrica perfecta.
- Sin embargo los sistemas eléctricos industriales generalmente no presentan las condiciones ideales ni en simetría, forma de onda y magnitud es decir tiene una calidad de potencia eléctrica disminuida, los fenómenos de calidad de la potencia eléctrica que se presentan con mayor frecuencia son: tensión simétrica y de magnitud mayor o menor que la tensión de placa, tensión desequilibrada es decir las tres fases presentan magnitudes diferentes y forma de onda de la tensión distorsionada es decir no es una onda sinusoidal pura.
- Si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es baja el motor operara con mayores pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Por lo tanto es importante que se verifique el grado de calidad de la potencia eléctrica de las instalaciones eléctricas ó en caso contrario se debe conocer las consideraciones a tomar en cuenta para la operación segura del motor.
- Reparación Eficiente de los Motores Eléctricos.
- Los estudios muestran que el rebobinado del motor mediante técnicas inadecuadas reduce la eficiencia del motor entre 2 % a 4%. Es preciso exigir que los motores sean rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado.
- Remplazando los Motores en Lugar de Rebobinarlos.
- Cuando un motor falla y debe ser reparado es importante determinar si es conveniente repararlo o remplazarlo por un motor de alta eficiencia. Es importante considerar que la eficiencia del motor cae en cada reparación, si esta es inadecuada, por lo que es importante conocer la eficiencia del motor fallado.

## Glosario

### Aislamiento

- Material no conductor que se utiliza en un conductor para separar los materiales conductores de un circuito.
- Material no conductor que se utiliza en la fabricación de cables aislados.

### Amperio (A)

Unidad que expresa el flujo de una corriente eléctrica. Un amperio es la corriente que produce una diferencia de tensión de un voltio en una resistencia de un ohmio; Una corriente eléctrica que circula a una velocidad de un culombio por segundo.

### Amperio hora (Ah)

Uso de un amperio durante una hora.

### Armónico

Componente sinusoidal de la tensión (o de la corriente) cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia de la onda fundamental. Los armónicos son esencialmente el resultado de los equipos electrónicos actuales. La electrónica de hoy en día se ha diseñado para absorber corriente en forma de "pulsos" en vez de hacerlo suavemente en forma sinusoidal, como lo hacían los antiguos equipos que no eran electrónicos. Estos pulsos producen formas de onda de corriente distorsionada, lo cual a su vez produce una distorsión de la tensión. Los armónicos de la tensión y de la corriente pueden provocar problemas como el calentamiento excesivo en el cableado, las conexiones, los motores y los transformadores y pueden producir un disparo aleatorio de los interruptores automáticos.

### Caída de tensión

Pérdida de tensión en un circuito cuando circula la corriente.

### Capacidad

- Relación entre la carga que se le aplica a un conductor y el correspondiente cambio de tensión.
- Relación entre la carga en cualquiera de los conductores de un condensador y la diferencia de tensión entre ambos.
- Propiedad de adquirir carga eléctrica.

### Conductor

- Cable o combinación de cables adecuados para transportar una corriente eléctrica. Los conductores pueden estar aislados o desnudos.
- Todo material que permite a los electrones fluir a través de él.

### Cortocircuito

- Carga que se produce cuando un conductor sin conexión a tierra entra en contacto con otro conductor u objeto con conexión a tierra.
- Conexión anómala de una impedancia relativamente baja, ya sea de forma intencionada o accidental, entre dos puntos con potencial diferente.

### Efecto Fotoeléctrico

Cuando la luz irradia un material, se liberan partículas cargadas eléctricamente. También se aplica a la radiación electromagnética. Albert Einstein aplicó a este fenómeno el concepto de partícula de luz o fotón.

### **Electricidad**

Fenómeno físico que resulta de la existencia e interacción de cargas eléctricas. Cuando una carga es estática produce fuerzas sobre objetos próximos y cuando se encuentra en movimiento produce efectos magnéticos.

### **Energía**

La energía es la capacidad de un cuerpo o un conjunto de éstos para efectuar un trabajo. Al pasar de un estado a otro, produce fenómenos físicos que manifiestan la transformación de la energía. La energía eléctrica se mide en kilowatt-hora (kWh).

### **Energía Verde**

Es la energía eléctrica generada mediante fuentes de energía renovables. Sostenible significa que la fuente de energía es inagotable, la energía es limpia.

Su obtención y transformación tiene pocos efectos en el clima.

### **Energía gris**

El gris indica que la energía eléctrica proviene de combustibles fósiles como el gas y la generación de carbón. Este sistema de producción emite gases que dañan el medio ambiente.

### **Energía renovable**

Las fuentes de energía renovable son aquellas que se obtienen de productos que no terminan, como el sol, el viento, la hidráulica y la biomasa.

### **Energía atómica o nuclear**

La que obtiene energía a partir de la unión o división de núcleos de átomo, que en ambas transformaciones libera energía calorífica o radiante.

### **Energía eólica**

Energía cinética del aire, producida por el viento que aprovechan los molinos de viento provistos de aerogeneradores. El fuerte viento provoca el movimiento de las aspas y genera, a través de los generadores, energía eléctrica.

### **Energía geotérmica**

Aprovechamiento de las altas temperaturas del interior de la tierra para la obtención de calor y producción de energía eléctrica. El calor interno de la tierra ocasiona el derretimiento de rocas y calienta las aguas subterráneas y los gases subterráneos.

### **Energía hidráulica**

- Fuerza que origina una corriente de agua y que es aprovechada como energía mecánica para mover maquinarias o producir energía eléctrica.
- Energía que se obtiene de los saltos de agua. La presión que origina la diferencia de alturas, se aprovecha mediante turbinas.

### **Energía solar**

Energía que proviene del sol y se transforma en electricidad mediante el efecto del calor del sol en una placa solar, produciendo la fusión de los núcleos atómicos de hidrógeno. Se usa principalmente mediante una batería que se carga durante el día, en instalaciones domésticas o iluminación exterior.

**Energía térmica**

Energía calorífica producida por la combustión en centrales térmicas de materiales combustibles como hulla, petróleo, gas natural.

**Factor de potencia (FP)**

La relación de energía consumida (watts) frente al producto de tensión de entrada (voltios) por la corriente de entrada (amperios). En otras palabras, el factor de potencia es el porcentaje de energía que se utiliza en comparación con el flujo de energía que discurre por el cableado. Al añadir condensadores al sistema se modifica el efecto inductivo de las bobinas del balastro, convirtiendo un sistema de factor de potencia normal (NPF) en un sistema de alto factor de potencia (HPF).

**Frecuencia**

- En sistemas de corriente alterna, velocidad a la que la corriente cambia de dirección, expresada en hertz (ciclos por segundo); Medida del número de ciclos completos de una forma de onda por unidad de tiempo.

**Hertz (Hz)**

- Unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo.
- En corrientes alternas, el número de cambios de los ciclos positivo y negativo por segundo.

**IEC**

Comisión Electrotécnica Internacional.

**Inductancia**

- Propiedad de un circuito por la cual un cambio de la corriente da lugar a una fuerza electromotriz.
- Componente magnética de la impedancia.

**kVA**

- Potencia aparente expresada en mil Voltio-Amperios.
- El Kilovoltio-Amperio designa la potencia de salida que puede generar un transformador a tensión y frecuencia nominales sin superar un aumento de temperatura determinado.

**kVAR**

Es la medida del flujo de potencia reactiva que se produce cuando la tensión y la corriente no están totalmente sincronizados o en fase.

**kW**

Potencia activa o efectiva expresada en kilowatts (kW).

**kWh**

Kilowatt-hora, uso de mil watts durante una hora.

**Ley de Ohm**

$V=IR$ ;  $I=V/R$ ;  $R=V/I$ ;  $V$  = Tensión aplicada a un circuito,  $I$  = corriente que circula por un circuito y  $R$  = resistencia del circuito. La ley de Ohm se utiliza para calcular la caída de tensión, las corrientes de fallo y otras características de un circuito eléctrico.

**Media cuadrática (RMS)**

Valor efectivo de corriente o tensión alterna. El verdadero valor eficaz RMS compara la corriente o tensión alterna con la corriente o tensión continua que proporciona la misma transmisión de potencia.

**Ohmio ( $\Omega$ )**

Unidad de resistencia eléctrica que se define como la resistencia de un circuito con una tensión de un voltio y un flujo de corriente de un amperio.

**Potencia real**

Valor medio del producto instantáneo de voltios y amperios en un circuito de corriente alterna durante un período de tiempo fijo.

**Potencia activa**

Término utilizado para potencia cuando es necesario distinguir entre potencia aparente, potencia compleja y sus componentes, y potencia activa y reactiva. Consulte Amperio hora

**Precisión**

La precisión de un comprobador digital se define como la diferencia entre la lectura mostrada y el valor real de una cantidad medida en condiciones de referencia. La precisión se especifica con el formato: ( $\pm xx\%$  rdg  $\pm xx$  dgt). La primera parte indica un porcentaje de error relacionado con la lectura, que indica que es proporcional a la entrada. La segunda parte es un error, en dígitos, que se mantiene constante independientemente de la entrada. "Ltr" implica lectura y "dgt" dígitos. Dgt indica el número de cuentas del último dígito significativo de la pantalla digital y normalmente se utiliza para representar un factor de error de un comprobador digital.

**Potencia aparente (voltio-amperios)**

Producto de la tensión y la corriente aplicada en un circuito de corriente alterna. La potencia aparente, o voltio-amperios, no es la potencia real del circuito ya que en el cálculo no se considera el factor de potencia.

**Resistencia**

Oposición al flujo de corriente, expresada en ohmios.

**THD**

THD (%THD, Distorsión Armónica Total) – contribución de todas las corrientes o tensiones armónicas a la tensión o corriente fundamental, expresada como un porcentaje de las mismas.

**V**

Tensión; voltio.

**VA**

- Capacidad eléctrica o carga eléctrica, expresada en voltios\*amperios.
- Voltio Amperio designa la potencia de salida que puede entregar un transformador a tensión y frecuencia nominal sin superar un aumento de temperatura determinado.

**Watt-hora**

- Unidad de trabajo igual a la potencia de un watt funcionando durante una hora.
- 3.600 julios.

**VAR**

Voltio amperio reactivo. Consulte también "Potencia reactiva".

**Voltio**

Unidad de fuerza electromotriz. Potencial eléctrico necesario para producir un amperio de corriente a través de una resistencia de un ohmio.

**Watt**

- Con mediciones de corriente alterna, la potencia eficaz (medida en watts) es igual al producto de la tensión por la corriente y por el factor de potencia (el coseno del ángulo de fase entre la corriente y la tensión).  $\text{Watts} = V \cdot I \cdot \cos(f)$ . Un vatio es una unidad de potencia que tiene en cuenta los voltios y los amperios y que es igual a la potencia en un circuito por el que circula una corriente de un amperio con una diferencia de tensión de un voltio.
- $\text{Watts} = E \cdot I \cdot \cos(f)$ . Un vatio es una unidad de potencia que tiene en cuenta los voltios y los amperios y que es igual a la potencia en un circuito en el que circula una corriente de un amperio con una diferencia de voltaje de un voltio.
- Un julio/segundo.

**X**

Reactancia expresada en Ohmios.

**Z**

Impedancia expresada en Ohmio

## Bibliografía

Amaya Martínez, G., Valero Delgado, A., & et al. (2006). Disminución de Costes Energéticos en la Empresa. Madrid, España: FC Editorial.

Aparicio, G., Dapás, N. A., & Et a. (2012). Análisis de Proyectos de Inversión.

Asociación Colombiana de Ejecutivos de Finanzas. (febrero de 2006). Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. Recuperado el 9 de febrero de 2015, de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:f-P8nHK0pzoJ:www.acef.com.co/mat\\_virtual/albums/mat/Evaluaci%25F3n%2520Financiera%2520de%2520Proyectos%2520de%2520Inversi%25F3n%2520ACEF.ppt+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=hn](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:f-P8nHK0pzoJ:www.acef.com.co/mat_virtual/albums/mat/Evaluaci%25F3n%2520Financiera%2520de%2520Proyectos%2520de%2520Inversi%25F3n%2520ACEF.ppt+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=hn)

Instituto Argentino de la Energía (IAE). Recuperado el 16 de agosto de 2015, de Equivalencias Energéticas: <http://www.iae.org.ar/equivalencias.pdf>

CEFIR Integración Regional. (s.f.). Cefir: Integración Regional. Recuperado el 15 de febrero de 2015, de Atlas de Energías Renovables del Mercosur.: [http://cefir.org.uy/atlas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1:la-matriz-energetica-mundial&catid=1:fichas1-7&Itemid=2](http://cefir.org.uy/atlas/index.php?option=com_content&view=article&id=1:la-matriz-energetica-mundial&catid=1:fichas1-7&Itemid=2)

Centro de Urbanismo Sostenible Valdespartera. (2014). El Viaje a Través de las Energías. (Ecociudad Valdespartera ed.). (A. d. Servicio de Educación, Ed.) Zaragoza .

Direct Industry. (s.f.). Direct Industry. Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de [http://www.directindustry.es/prod/weg/motores-asincrono-carcasa-fundicion-trifasicos-alto-rendimiento-12491-478158.html#product-item\\_788097](http://www.directindustry.es/prod/weg/motores-asincrono-carcasa-fundicion-trifasicos-alto-rendimiento-12491-478158.html#product-item_788097)

Enciclopedia de negocios. (s.f.). Enciclopedia de Negocios. Recuperado el 16 de febrero de 2015, de [http://enciclopedia.rodinias.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55:vpn&catid=39:glosario&Itemid=67](http://enciclopedia.rodinias.com/index.php?option=com_content&view=article&id=55:vpn&catid=39:glosario&Itemid=67)

Energy Solution. (9 de Febrero de 2015). Submittal Set. Obtenido de [ftp://files.killco.com/Production/12-316%20Short%20Street%20Parking%20Garage/Submittals/Substitution%20Requests/Lighting%20Package%20Substitution/City%20of%20Columbia,%20Mo%20-%20Short%20Street%20Parking%20Garage%20\(Submittal%20set%20%231\).pdf](ftp://files.killco.com/Production/12-316%20Short%20Street%20Parking%20Garage/Submittals/Substitution%20Requests/Lighting%20Package%20Substitution/City%20of%20Columbia,%20Mo%20-%20Short%20Street%20Parking%20Garage%20(Submittal%20set%20%231).pdf)

Escuela de Organización Industrial. (2008). Manual de Eficiencia Energética. (G. N. Fenosa, Ed.) España: División de Impresión.

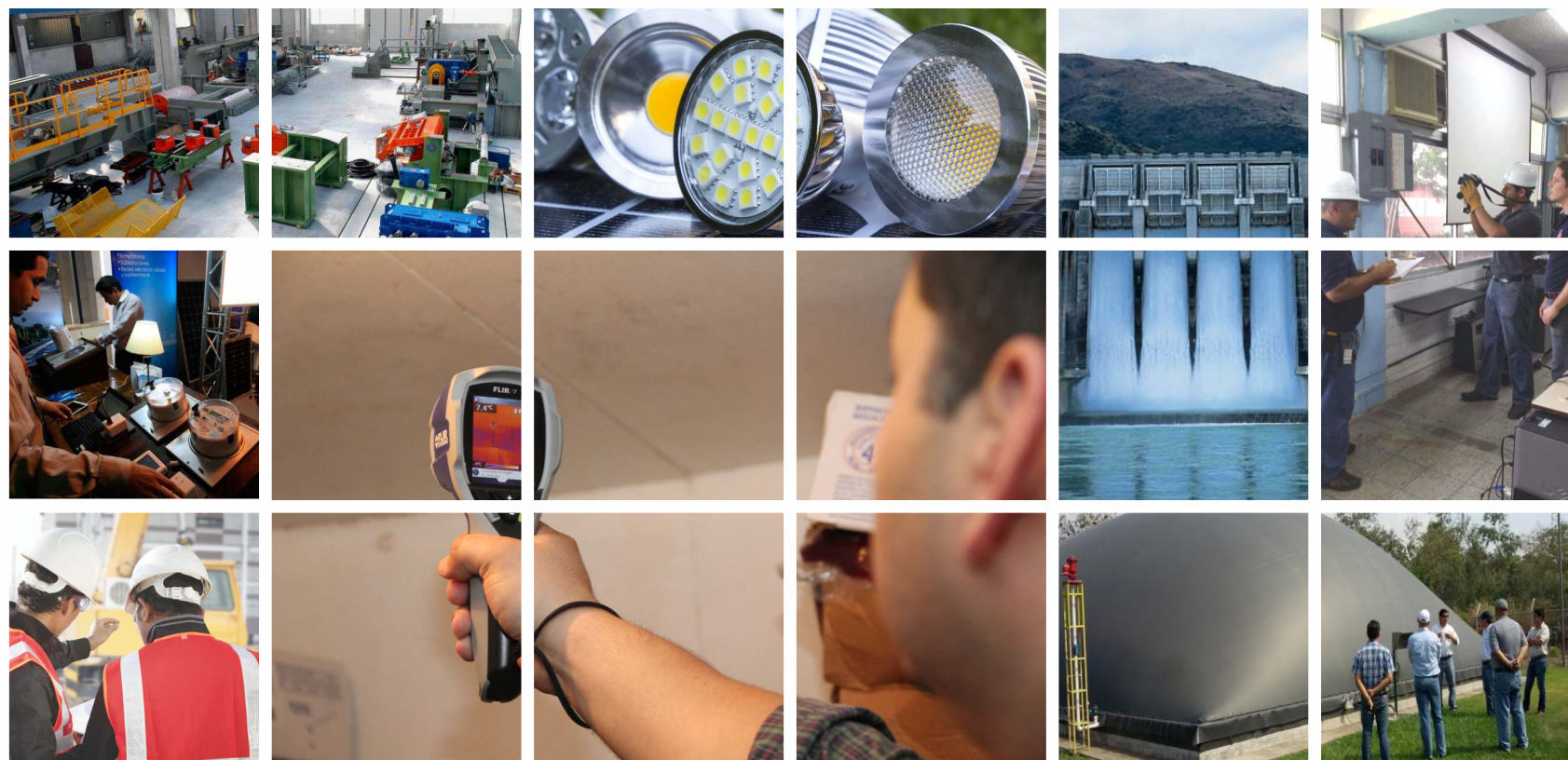
Extech. (s.f.). Extech España. Recuperado el 16 de febrero de 2015, de <http://www.extech.com.es/instruments/product.asp?catid=32&prodid=111>

Extech. (s.f.). Extech España. Recuperado el 16 de febrero de 2015, de <http://www.extech.es/luxometros.htm>

Fernández, C. F. (2009). Recursos Energéticos: Energías Reutilizables. Región de Murcia., España: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

- FLIR. (15 de febrero de 2015). FLIR. Obtenido de [http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography\\_USA/Products/Product\\_Literature/FLI R-Ex-Series-Datasheet-ES.pdf](http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_USA/Products/Product_Literature/FLI R-Ex-Series-Datasheet-ES.pdf)
- GOOD LEDS. (2013). Good Leds. Recuperado el 15 de febrero de 2015, de "Iluminamos tu futuro": <http://goodleds.co/>
- International Energy Agency. (2013). International Energy Agency. Recuperado el 9 de enero de 2015, de <http://www.iea.org/newsroomandevents/graphics/2014-09-09-energy-efficiency.html>
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Recuperado el 16 de agosto de 2015, de [http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32\\_2/old0179.pdf](http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0179.pdf)
- Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española. Recuperado el 16 de agosto del 2015, de <http://lema.rae.es/drae/?val=motor>
- REPSOL. (2013). Recuperado el 15 de febrero de 2015, de [http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/)
- Sánchez, F. E. (1998). Análisis Contable de la Rentabilidad Empresarial. Madrid, España: Centro de Estudios Financieros.
- Serrano, S. (Marzo-Abril de 2014). Eficiencia Energética. (D. d. Córdoba, Ed.) PREVENIDOS: Boletín Informativo de Prevención de Riesgos Laborales, No 2, 8-11.
- UCATEE. (2010). Manual de Eficiencia Energética para PYMES. (Primera ed.). San Salvador., El Salvador.: Unidad de Capacitación y Asistencia Técnica en Eficiencia Energética.
- Universidad de El Salvador. (s.f.). Universidad de El Salvador. (E. d. Matemática, Ed.) Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de [https://academica.ues.edu.sv/uiu/elementos\\_estudio/ciencias\\_naturales/fisica/mecanica/Energ%C3%ADa.pdf](https://academica.ues.edu.sv/uiu/elementos_estudio/ciencias_naturales/fisica/mecanica/Energ%C3%ADa.pdf)





Deutsche Gesellschaft für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética  
en Centroamérica, 4E  
Col. Lomas del Guajarro, Ave. Alfonso XIII  
Casa #3633, Bloque D  
Tegucigalpa, Honduras  
T +504 2262-0741  
E [energiaca@giz.de](mailto:energiaca@giz.de)  
I [www.energias4e.com](http://www.energias4e.com)

Banco Centroamericano de Integración Económica  
BCIE

Iniciativa MIPYMES VERDES  
Edificio Sede, Boulevard Suyapa,  
Tegucigalpa, Honduras.  
T: +504 2240-2243  
F: +504 2240-2231  
E [finamexterno.bcie.org](mailto:finamexterno.bcie.org)  
I [www.mipymesverdes.org](http://www.mipymesverdes.org)